

Bambus no Brasil

DA **BIOLOGIA** À **TECNOLOGIA**

Bambus no Brasil

DA BIOLOGIA À TECNOLOGIA

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Michel Temer

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES:

MINISTRO: Gilberto Kassab | **SECRETÁRIO-EXECUTIVO:** Elton Santa Fé Zacarias | **SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO:** Jailson Bittencourt de Andrade | **DIRETOR DO DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS TEMÁTICOS:** Savio Raeder

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA:

PRESIDENTE: Maurício Antônio Lopes | **DIRETOR-EXECUTIVO DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA:** Cleber Oliveira Soares | **DIRETOR-EXECUTIVO DE PESQUISA & DESENVOLVIMENTO:** Celso Luiz Moretti | **DIRETORA-EXECUTIVA DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS:** Lúcia Gatto | **CHEFE DA SECRETARIA DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS:** Alexandre Moraes do Amaral | **CHEFE GERAL DA EMBRAPA ACRE:** Eufran Ferreira do Amaral | **CHEFE ADJUNTO DE PESQUISA DA EMBRAPA ACRE:** Jacson Rondinelli da Silva Nogueiros | **CHEFE ADJUNTO ADMINISTRATIVO DA EMBRAPA ACRE:** João Batista Martiniano Pereira

ORGANIZADORES

Patrícia Maria Drumond | **CHEFE ADJUNTA DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA** | **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA ACRE** | **MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO**
Guilherme Wiedman | **ANALISTA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA** | **COORDENADOR-GERAL DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS APLICADAS SUBSTITUTO** | **SECRETARIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO** | **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

COORDENAÇÃO EDITORIAL: Thaís Fernandes | **INSTITUTO CIÊNCIA HOJE**

REVISÃO CIENTÍFICA: Adriano Luiz Tonetti (Unicamp), Ailton Teixeira do Vale (UnB), Alessandra de Oliveira Ribeiro (UFLA), Beatriz Schwantes Marimon (Unemat), Evaristo Mauro de Castro (UFLA), Fábio Minoru Yamaji (UFSCar), Fabrício Moreira Ferreira (UFJF), Henrique Augusto Mews (Unemat), Holmer Savastano Júnior (USP), José Djair Vendramim (USP), Juliano Fiorelli (USP), Leila de Paula Rezende (UFAL), Lucas Alves Ripper (Bambutec), Marcondes Viana da Silva (UESB), Miguel Pedro Guerra (UFSC), Moisés Silveira Lobão (UFAC), Newton Paulo de Souza Falcão (INPA), Niraldo José Ponciano (UENF), Normando Perazzo Barbosa (UFPPB), Paulo Roberto H. Moreno (USP), Ricardo Cristofaro (UFJF), Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira (UFRPE), Sandra Helena Prudencio (UEL) e Suani Teixeira Coelho (USP)

EDIÇÃO DE TEXTO: Carla Almeida, Catarina Chagas, Elisa Menezes, Isabela Fraga, Julia Dias Carneiro, Marcelo Garcia, Mariana Ferraz, Miguel Conde, Mônica Pettinelli, Simone Evangelista e Thiago Camelo

REVISÃO: Sandra Felgueiras (português) | Roberta Freitas (inglês)

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO E CAPA: Ampersand Comunicação Gráfica

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

B159

Bambus no Brasil : da biologia à tecnologia / organização Patrícia Maria Drumond, Guilherme Wiedman. -
1. ed. - Rio de Janeiro : ICH, 2017.
655 p. ; 16x23 cm.

Apêndice
ISBN 9788589962223

1. Bambu - Brasil. 2. Bambu - Cultivo. 3. Bambu - Utilização. I.
Drumond, Patrícia. II. Wiedman, Guilherme.

17-45294

CDD: 633.58
CDU: 633.584.5

09/10/2017 13/10/2017



ICH - Instituto Ciência Hoje
Av. Venceslau Brás, 71 - casa 27 - CEP: 22290-140 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: (21) 2109-8999 - www.cienciahoje.org.br

Este livro é parte integrante das atividades previstas no Memorando de Entendimento assinado em 2011 entre o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil e o Ministério de Ciência e Tecnologia da República Popular da China para cooperação bilateral em ciência e tecnologia na área de desenvolvimento em bambu, que tem como instituições executoras a Embrapa e a CAF (Chinese Academy of Forestry), respectivamente.

Patrícia Maria Drumond
Guilherme Wiedman
(organizadores)

Bambus no Brasil

DA BIOLOGIA À TECNOLOGIA

1ª edição
Rio de Janeiro
2017



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



APOIO:



Secretaria de Estado
de Ciência e Tecnologia



Os organizadores agradecem a todos os que se envolveram na produção deste livro, em particular às equipes da Embrapa, do MCTIC e do Instituto Ciência Hoje, bem como aos autores e aos revisores. Agradecem também ao CNPq (processo n.º 459218/2013-1) e à Embrapa (Projeto SEG 04.15.00.008.00.00) pelo apoio financeiro.

Apresentação

O bambu (ou taboca, taquara, entre outros diferentes nomes existentes no Brasil) é uma gramínea de ampla distribuição geográfica. Existem no mundo em torno de 1.300 espécies de bambu. O Brasil é líder de ocorrência nas Américas, com cerca de 200 espécies, entre nativas e exóticas, sendo a grande maioria endêmica.

Há milênios, o bambu é conhecido e utilizado no Oriente para as mais diversas funções do cotidiano: alimento, estruturas de casas, paredes, telhas, portas e janelas, mobiliário, utensílios de cozinha, objetos de decoração, cercas, pontes, irrigação, drenos, embarcações, contenção de encostas, entre outras. Sítios arqueológicos no Equador mostram que o bambu é usado há cerca de 5 mil anos na América do Sul, primeiramente pelos indígenas. Em países como Equador, Colômbia e Costa Rica, onde a pesquisa e a utilização do bambu já estão bastante avançadas, essa planta é empregada na construção de pontes, paradas de ônibus, praças de pedágio e também em programas governamentais de habitações de interesse social adaptadas às mudanças climáticas. Construções coloniais centenárias que utilizam bambu comprovam a sua durabilidade ao longo dos anos.

O Brasil dispõe de clima favorável e grande extensão de áreas degradadas inaptas para outros cultivos, mas adequadas ao plantio de diversas variedades de bambu de valor comercial. Uma das maiores florestas nativas de bambu do planeta localiza-se na Amazônia Sul-Occidental e engloba parte do estado do Amazonas e a maior parte do estado do Acre, além de áreas vizinhas em Pando, na Bolívia, e Madre de Dios, no Peru. Nessa região, ocorrem grandes concentrações de bambus nativos do gênero *Guadua*.

No entanto, a atividade econômica relacionada ao bambu no Brasil é bastante restrita. Esse cenário deve-se à ausência de tradição no emprego do bambu como matéria-prima e, também, às lacunas de conhecimento e tecno-

logias locais que permitam usar tanto as espécies de clima temperado, adequadas às regiões Sul e Sudeste do país, quanto as espécies tropicais nativas, que têm excelentes propriedades físicas e mecânicas, além de grande potencial comercial.

Considerando a importância socioambiental e econômica do bambu e a demanda reprimida existente no setor, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vêm promovendo uma série de ações voltadas à produção de conhecimento sobre espécies nativas e exóticas de bambu e suas inúmeras aplicações. Entre essas ações, destaca-se a implementação conjunta do Projeto 04.15.00.008, intitulado ‘Execução das atividades previstas no Memorando de Entendimento entre o MCTI e o MOST – Ministério de Ciência e Tecnologia da República Popular da China para cooperação bilateral em ciência e tecnologia na área de desenvolvimento em bambu’, coordenado pela Embrapa Acre. A publicação deste livro, *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*, é parte integrante das atividades previstas no referido Projeto e tem como objetivo agregar, em uma única obra, informações de qualidade oriundas de diferentes instituições brasileiras e que possam auxiliar no desenvolvimento e na consolidação da cadeia produtiva do bambu no Brasil.

Eufraan Ferreira do Amaral
Chefe-geral da Embrapa Acre

Jailson Bittencourt de Andrade
Secretário de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED
Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Sumário

BIOLOGIA E CONSERVAÇÃO

Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação	10
Cultivo, manejo e colheita do bambu.....	28
Caracterização anatômica dos órgãos vegetativos de bambu (Poaceae, Bambusoideae).....	42
Estimativa de volume aparente do colmo de três espécies de bambus exóticos.....	60
Protocolo para micropropagação de duas espécies de <i>Guadua</i>	71
Estabelecimento in vitro de <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J. C. Wendl e <i>Dendrocalamus asper</i> (Schult. & Schult. F.) Backer ex K. Heyn	86
Micropropagação de bambu em larga-escala: princípios, estratégias e desafios	103
Influência de espécies de bambu como alimento no crescimento populacional e na preferência alimentar do caruncho-do-bambu.....	130
Ocorrência, biomassa, perdas e exploração de bambu em florestas da Amazônia no Acre, Brasil.....	145
Estrutura populacional e o potencial de uso de <i>Guadua cf. superba</i> na região do Alto Acre.....	161
Bambus nativos como espécies invasoras no sul do Brasil.....	179
Dinâmica sucessional de espécies arbóreas sob influência de <i>Merostachys</i> <i>multiramea</i> Hack. em mata atlântica subtropical	197
Distribuição de espécies lenhosas sob influência de <i>Actinocladum verticillatum</i> na transição Cerrado-Amazônia	212
Bambu, uma alternativa para o sequestro de carbono.....	227
Metabolismo sazonal de carboidratos e compostos fenólicos em bambus como subsídio à conservação pós-colheita	242
Produção de mudas de bambus por estaquia de hastes secundárias e avaliação do estoque de carboidratos	258

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO

Em busca de características promissoras: avaliação experimental de seis espécies de bambu em Pinhais (PR).....	270
Estudo de caso de plantio adensado de <i>Bambusa vulgaris</i>	281
Bambu nativo: alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o estado do Acre	290

Bambu como recurso para tecnologias sociais na Zona da Mata mineira	307
Implantação do Projeto Bambu no assentamento rural Horto de Aimorés (SP)	321
Percepção de assentados no Mato Grosso do Sul em relação às moradias de bambu	335
Sistema construtivo em bambu para habitação de interesse social	349
Retenção de água em carvão de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas	368
Potencial de uso alimentar de diferentes espécies de bambus	382
Potencialidades nutracêuticas de brotos de bambus	392
Contabilidade ambiental da produção de brotos de bambu no Brasil: comparação com outros alimentos	409

USOS INDUSTRIAIS

<i>Design</i> sustentável em produtos de bambu	428
Bambu como insumo industrial no Brasil: reflexão sobre o papel da pesquisa na produção do bambu laminado colado (BaLC)	439
Uso de compósitos de argamassa de cimento e areia com adição de partículas de bambu na produção de telhas	456
Quiosque de bambu do projeto do Parque do Tucumã em Rio Branco, Acre	474
Produção e uso de materiais compósitos bambu-PET na construção civil popular	494
Esquadrias de bambu laminado colado	511
Fibras de bambu como carga de reforço em materiais compósitos: fonte alternativa, econômica e sustentável	526
Materiais lignocelulósicos reforçados com lâminas de bambu	540
Nanofibrilas obtidas de polpas celulósicas de bambu: propriedades e aplicação como reforço em polímeros	552
Painéis aglomerados produzidos com bambu	567
<i>Guadua weberbaueri</i> , nova matéria-prima para painéis compensados	580
Potencial de produção sustentável a partir de bambus brasileiros: energia, biocombustíveis e matérias-primas	601
Produção de polpa solúvel a partir de bambu	626
Tratamento de águas residuárias em solo vegetado com bambu	641







BIOLOGIA E CONSERVAÇÃO





Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação

Tarciso S. Filgueiras⁽¹⁾ e Pedro Lage Viana⁽²⁾

⁽¹⁾ Núcleo de Pesquisa e Curadoria do Herbário, Instituto de Botânica. Caixa Postal 68041, São Paulo, Brasil. E-mail: tfig@uol.com.br

⁽²⁾ Museu Paraense Emílio Goeldi. Avenida Magalhães Barata, 376, São Braz, Belém - PA, 66040-170, Brasil. E-mail: pedroviana@museu-goeldi.br

Resumo – Os bambus (Bambusoideae) constituem uma das 12 subfamílias de Poaceae e são classificados em três tribos, duas das quais, Olyreae e Bambuseae, ocorrem no Brasil. O presente trabalho aborda, sucintamente, a morfologia, a taxonomia, a distribuição e o status conservacionista dos bambus nativos do Brasil. Os dados foram obtidos através da consulta à Lista das Espécies da Flora do Brasil, à literatura especializada, e por meio da análise de espécimes depositados em herbários nacionais e estrangeiros, de trabalhos de campo e da experiência profissional dos autores. A riqueza taxonômica da flora de bambus nativa do Brasil, composta por 258 espécies (165 endêmicas) distribuídas em 35 gêneros (17 endêmicos), é apresentada, comentada e discutida quanto às particularidades morfológicas, biogeográficas, ecológicas e conservacionistas. Os eventos de floração gregária e cíclica, típicos dos bambus lenhosos, e as densas populações (sinúsias) formadas por algumas espécies são abordadas no contexto da flora brasileira. Destaca-se o grande número de espécies ameaçadas de extinção (23), porém estudos mais detalhados são necessários para uma avaliação mais precisa. Pesquisas sobre florística, taxonomia, filogenia e filogeografia são consideradas prioritárias para aprimorar o conhecimento dos bambus nativos do Brasil. Igualmente importante é a formação de recursos humanos.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BAMBUSOIDEAE, POACEAE, TABOCA, TAQUARA, TAQUARI, TAQUARUÇU.



Brazilian bamboos: morphology, taxonomy, distribution and conservation

Abstract – *The bamboos comprise one of the 12 subfamilies of Poaceae, the Bambusoideae. The subfamily is classified into three tribes, two of which, Olyreae and Bambuseae, occur in Brazil. This work aims to provide a brief analysis of the morphology, taxonomy, distribution and conservation status of native bamboos in Brazil. The data presented is based on the List of Species of the Brazilian Flora, specialized literature, study of national and international herbarium specimens, fieldwork, and the personal expertise of the authors. The taxonomic richness of the native bamboo in Brazil, made up of 258 species (165 endemic) in 35 genera (17 endemic), is presented, commented and discussed in relation to their morphologic, biogeographic, ecological and conservationist features. Cyclic and gregarious flowering events, a typical feature of woody bamboos, and the dense populations formed by some species, are addressed in the context of the Brazilian flora. Twenty three species are considered threatened with extinction, but more detailed studies are necessary to qualify this evaluation. More research on floristics, taxonomy, phylogeny and phylogeography are considered a priority to improve the present knowledge on the native bamboo in Brazil. Training human resources to work is also an urgent matter.*

INDEX TERMS: BAMBUSOIDEAE, POACEAE, TABOCA, TAQUARA, TAQUARI, TAQUARUÇU.

Introdução

Os bambus são um grupo fascinante de plantas. Reconhecíveis através de suas características morfológicas, anatômicas, macromoleculares e ecológicas (Filgueiras & Santos-Gonçalves, 2006), são classificados em Bambusoideae, uma das 12 subfamílias de Poaceae (Soreng et al., 2015). Estudos de abordagem filogenética reconhecem claramente Bambusoideae como grupo monofilético (derivado de um ancestral único) que pode ser delimitado pela presença de parênquima foliar formado por células com paredes invaginantes e células fusoides, além de folhas com pseudopecíolo (GPWG, 2011; Kel-

chner & BPG, 2013). Os bambus são atualmente classificados em três tribos, Arundinarieae, Bambuseae e Olyreae. No Brasil, há representantes das tribos Olyreae e Bambuseae.

A história evolutiva dos bambus pode ser relacionada à adaptação e diversificação em ambientes florestais. Suas típicas lâminas foliares largas, padrões complexos de ramificação e colmos altos ou apoiantes são adaptações que otimizam a busca por luz em florestas, ambiente onde vive a maioria das espécies (Judziewicz et al., 1999).

O objetivo deste artigo é analisar, sucintamente, a morfologia, a taxonomia, a distribuição e o grau de conservação dos bambus nativos do Brasil.

Material e métodos

Os dados foram obtidos a partir da consulta à Lista das Espécies da Flora do Brasil (LEFB, 2015; Filgueiras et al., 2015¹) e à literatura especializada, e por meio da análise de espécimes depositados em herbários nacionais e estrangeiros, de trabalhos de campo dos autores em diversas regiões do país, e também de sua experiência profissional com esse grupo de plantas.

A descrição da morfologia dos bambus, como das gramíneas em geral, requer o uso de terminologia adequada. O conceito dos termos técnicos utilizados, já consagrados na literatura especializada, pode ser encontrado, por exemplo, em Judziewicz et al. (1999) e Boldrini et al. (2005). A nomenclatura e a taxonomia da subfamília Bambusoideae adotadas seguem Soreng et al. (2015) e Filgueiras et al. (2015). A inclusão das espécies em determinada categoria de conservação tomou como base o Livro Vermelho da Flora do Brasil (Martinelli & Moraes, 2013), os critérios da IUCN (2001) e, adicionalmente, o conhecimento de campo dos autores.

Resultados e discussão

Os resultados foram divididos nas seguintes categorias, discutidas separadamente: Morfologia, Floração e Biodiversidade, taxonomia e conservação. Em seguida, são apresentados dados sobre gêneros e espécies das tribos Olyreae e Bambuseae. Por fim, a ocorrência das sinúsias é abordada, seguida de sugestões de temas que requerem investigação mais profunda.

¹ Para autoria de informações específicas sobre gêneros, ver LEFB, 2015.

MORFOLOGIA - A riqueza e a diversidade morfológica dos bambus são a base do conhecimento sobre sua taxonomia, e seu entendimento é crucial para o confiável reconhecimento de espécies. O bambu pode ser dividido em raiz, caule, folhas e inflorescências.

A porção subterrânea do caule, denominada rizoma, pode ser do tipo paquimorfo, de crescimento simpodial, ou leptomorfo, com crescimento monopodial. O termo anfipodial é utilizado para rizomas com os dois padrões de ramificação. Em geral, espécies de rizoma paquimorfo organizam-se em touceiras, enquanto as espécies de rizoma leptomorfo são alastrantes. São desconhecidas espécies nativas do Brasil com rizoma leptomorfo.

A parte aérea do caule, como em todas as gramíneas, é denominada colmo. Os colmos são formados por nós, entrenós e gemas e apresentam rica diversidade de forma, podendo ser sólidos, fistulosos ou medulosos, eretos, arqueados, apoiantes ou escandentes. Podem ter desde poucos milímetros até dezenas de centímetros de diâmetro. Suas paredes podem ser delgadas e frágeis ou espessas e rígidas. Podem ser cilíndricos, sulcados ou levemente achatados, e a cor varia de tons de verde ao vináceo, passando pelo castanho e o amarelado. A superfície pode ser lisa, papilosa, áspera ou estriada. O comprimento relativo dos entrenós ao longo do colmo e a morfologia da região nodal também são variáveis, sendo suas características de grande utilidade para o reconhecimento das espécies. Os padrões de ramificação dos colmos variam enormemente e são também muito utilizados para o reconhecimento de gêneros e espécies.

As folhas dos bambus são, como em praticamente todas as gramíneas, constituídas por bainha e lâmina, com uma lígula na região de transição. É típica a presença de pseudopecíolo, uma constrição na base da lâmina foliar que lhe confere certa mobilidade, potencialmente útil na busca por luz. Na maioria das espécies da tribo Bambuseae ocorre dimorfismo foliar, ou seja, há dois tipos de folhas claramente distintas morfológicamente: as folhas de colmo, com função principal de proteção ao colmo jovem, também chamado de turião; e as folhas de ramo, cuja função principal está relacionada às atividades de fotossíntese, respiração e transpiração. As folhas de colmo geralmente possuem a bainha foliar mais desenvolvida que a lâmina, que pode muitas vezes ser reduzida. Nas folhas de ramos concentra-se o tecido fotossintetizante, localizado nas lâminas foliares, notavelmente mais desenvolvidas e de formas diversas, podendo ser, por exemplo, lineares, linear-lanceoladas, lanceoladas ou ovais. É comum em alguns grupos de bambus a presença de fímbrias e/ou aurículas na região ligular. Essas estruturas, pela diversidade de formas, texturas e dimensões, também fornecem preciosas informações para a taxonomia do grupo.

As flores dos bambus são agrupadas em pequenas inflorescências denominadas espiguetas, que, por sua vez, reúnem-se em sinflorescências. A flor propriamente dita é diminuta, reduzida a um ovário súpero uniovulado, com estigmas plumosos ou barbados, dois, três ou até 40 estames (em algumas espécies de *Pariana*, segundo Judziewicz et al., 1999) e três estruturas escamiformes basais, conhecidas como lodículas. Cada flor é protegida por um par de brácteas, denominadas lema e pálea, que compõem um antécio. Cada espiguetas é composta por brácteas basais, ou glumas, e antécios. As espiguetas podem possuir de um a vários antécios, e as sinflorescências podem possuir de uma a várias espiguetas.

Os frutos dos bambus são denominados cariopse, caracterizada pelo pericarpo aderido à semente. Poucas espécies, como *Alvimia* spp. e *Guadua sarcoarpa*, apresentam frutos bacoides.

FLORAÇÃO - A floração dos bambus é distinta das demais angiospermas, pois florescem ciclicamente e depois de uma floração *en masse* toda a população morre. O fenômeno, conhecido como monocarpia, ocorre em muitas espécies da tribo Bambuseae, porém é raro em Olyreae, cujas plantas são pluricárpicas, isto é, florescem anualmente, algumas florescendo continuamente durante grande parte do ano.

O padrão de floração entre os bambus da tribo Bambuseae é um tema complexo e tem intrigado pesquisadores há bastante tempo. O fenômeno foi colocado em perspectiva pelo ecólogo Janzen (1976), que propôs a hipótese da saciação do predador para explicar a floração em massa de muitas espécies. Depois desse trabalho seminal, numerosos outros têm sido escritos sobre o tema (e.g., Ahmed & Das, 1986, McClure, 1993, Nadgouda et al., 1997) e pesquisadores têm se esforçado para encontrar o fator ou os fatores que controlam a floração dos bambus. Avanços significativos foram alcançados por cientistas chineses (Zhao et al., 2014) que isolaram a molécula denominada dla-miR18, suspeita de coordenar as ações de mais de 200 genes relacionados à floração gregária de *Dendrocalamus latiflorus* e espécies afins. Já Veller et al. (2015) propuseram um modelo matemático simples para explicar o fenômeno. Segundo os autores, a floração gregária com longos intervalos evoluiu em duas etapas. Na primeira, uma população que florescia anualmente sincronizou sua floração para um curto intervalo. Na segunda fase, ocorreram sucessivas pequenas multiplicações do intervalo de sincronização inicial, resultando nos extraordinários intervalos observados atualmente.

No padrão comumente encontrado na natureza entre os bambus nativos no Brasil, plantas de uma mesma espécie florescem ciclicamente, em geral

gregariamente, com grande produção de cariopse, seguida da morte de toda a população. A nova geração surge a partir de coorte de plântulas que nascem sob as touceiras mães ou nas imediações. A ocorrência de touceiras mutantes que não florescem, embora rara, acontece (Filgueiras & Pereira, 1984). Não há uma regra geral aplicável a todas as espécies, pois o ciclo de floração varia com a espécie. Apesar disso, os dados disponíveis sugerem que o ciclo de floração das tabocas e taquaras nativas varia entre 15 e 35 anos, havendo, no entanto, florescimento fora desse padrão. Florescimento esporádico, possivelmente por estresse, também tem sido registrado para espécies dos gêneros *Chusquea* e *Guadua*, com e sem produção de cariopses. Enquanto a floração gregária é normalmente seguida de morte das plantas da população que floresceu, na floração esporádica isso não ocorre. Populações de uma mesma espécie separadas por razoável distância podem florescer segundo calendário próprio, sugerindo que são populações geneticamente distintas.

BIODIVERSIDADE, TAXONOMIA E CONSERVAÇÃO - A Lista das Espécies da Flora do Brasil cita 258 espécies de bambus nativos, distribuídos em duas tribos, Olyreae e Bambuseae, e 35 gêneros (Filgueiras et al., 2015). A tribo Olyreae é composta por bambus herbáceos e tem 17 gêneros (49%) e 93 espécies (36%), enquanto Bambuseae é composta por bambus lignificados ou lenhosos e apresenta 18 gêneros (51%) e 165 espécies (64%). O número de bambus endêmicos no Brasil é alto: são 12 gêneros (34%) e 175 espécies (68%).

Olyreae - O maior gênero da tribo é *Pariana*, com 29 espécies, 11 delas endêmicas. O gênero é predominantemente amazônico, com breve extensão para o Nordeste. Portanto, a região Norte, juntamente com o Maranhão, exibe o maior número de espécies (28 spp.). Uma espécie, *P. multiflora*, ocorre na região Sudeste, no Espírito Santo, mas seu real posicionamento em *Pariana* é tema atual de investigação por especialistas no grupo (Ferreira et al., 2013a). As plantas desse gênero são delgadas ou robustas, com estolões ou rizomas. As folhas exibem conspícuas fímbrias. A inflorescência, terminal e espiciforme, é formada por fascículos que contêm entre quatro e seis espiguetas masculinas circundando uma feminina no centro.

Em número de espécies, segue-se *Olyra*, com 20 espécies, sete endêmicas. *Olyra latifolia* tem a mais ampla distribuição no país, ocorrendo em praticamente todos os estados, além de ocorrer nas Américas, do sul do México ao norte da Argentina, e também na África e em Madagascar (Judziewicz et al., 1999). No Brasil, é comumente encontrada em matas primárias e secundárias, sempre associada à umidade ambiental. Também frequentes são

O. ciliatifolia, *O. glaberrima* e *O. humilis*. Embora o gênero seja encontrado de norte a sul, algumas espécies são bastante raras. *Olyra latistipula*, conhecida apenas do Parque Nacional do Monte Pascoal, na Bahia, é considerada “Críticamente em perigo” (Filgueiras et al., 2013).

O terceiro maior gênero é *Raddia*, com nove espécies, oito das quais são endêmicas. São todas plantas de pequeno porte, delicadas. O Brasil é o maior centro de diversidade do gênero. *Raddia portoi* e *R. soderstromii* são relativamente frequentes, enquanto *R. lancifolia* e *R. stolonifera* são encontradas somente na Bahia, e *R. lancifolia* exclusivamente no Espírito Santo. *Raddia angustifolia* é considerada “Críticamente em perigo” e *R. distichophylla* “Em perigo” (Filgueiras et al., 2013).

Com cinco espécies, três das quais endêmicas, *Raddiella* agrega plantas menores e ainda mais delicadas que *Raddia*. Nesse grupo encontra-se, por exemplo, o menor bambu do mundo, *Raddiella minima*, com colmos delgadíssimos com três a oito centímetros de comprimento, sendo o único bambu de ciclo anual conhecido na literatura mundial. Os indivíduos dessa espécie comportam-se como plântulas que entram em floração precoce, sugerindo um processo extremo de neotenia (sensu Stace, 1991), ao ponto de alguns indivíduos férteis ainda exibirem, na base, restos das cariopses que lhes deram origem. A espécie *Raddiella lunata*, por sua vez, apresenta antécio escuro, na curiosa forma de crescente, como uma meia-lua. Com exceção de *R. esenbeckii*, que é relativamente comum em barrancos de córregos nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, todas as demais espécies são raras na natureza. Devido ao porte diminuto, podem ser facilmente ignoradas pelos coletores, por isso merecem atenção especial dos órgãos de conservação, sendo pequenas joias biológicas. Também representam precioso material potencial para estudos científicos envolvendo o fenômeno da floração.

A delicada beleza da folhagem das plantas de *Raddia* e *Raddiella* e sua semelhança superficial com pequenas samambaias as torna atrativas para o cultivo em ambientes sombreados e interior de residências (Filgueiras, 1988). São gêneros que apresentam claro potencial para domesticação, com futuro promissor no comércio de plantas ornamentais.

O gênero *Parodiolyra*, com quatro espécies, apenas uma endêmica, é encontrado esporadicamente em todas as regiões do país. *Parodiolyra micrantha*, com seus antécios conspicuamente foveolados, é a mais frequente, ocorrendo, inclusive, como pioneira em ambientes florestais antropogênicos, podendo ser utilizada na recuperação de áreas florestais degradadas. Outros

gêneros, como *Eremitis*, *Lithachne* e *Sucrea*, apresentam duas a quatro espécies descritas cada, enquanto *Agnesia*, *Cryptochloa*, *Froesiochloa*, *Rehia* e *Reitzia* apresentam uma espécie no país. Todas as espécies desses gêneros, com exceção de *Cryptochloa capillata*, que apresenta distribuição ampla, merecem atenção especial dos órgãos de conservação, principalmente considerando-se a crescente destruição de seus habitats preferenciais. *Sucrea*, com três espécies, todas endêmicas, ocorre no sul da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, sendo que *S. maculata* e *S. sampaiana* são consideradas “Em perigo” (Filgueiras et al., 2013). *Eremitis*, gênero endêmico com três espécies, destaca-se dos demais gêneros da tribo por apresentar, simultaneamente, órgãos reprodutivos aéreos e subterrâneos, sendo, portanto, plantas anficárpicas. Nesse gênero os especialistas reconhecem a existência de espécies ainda não descritas. As plantas apresentam grande apelo ornamental pela inusitada cor glauca da face abaxial das folhas de algumas espécies e pela ocorrência de notável iridescência foliar na face adaxial em espécies como *E. afimbriata* e *E. magnifica* devido à grande quantidade de papilas presentes nesse órgão (Ferreira et al., 2013b).

Lithachne, com duas espécies, uma delas endêmica, é peculiar por apresentar antécio bissexual ósseo, em forma de minúsculo capacete. *Lithachne horizontalis* é considerada “Em perigo” (Filgueiras et al., 2013). *Parianella*, gênero relacionado a *Pariana* e *Eremitis*, compondo a subtribo Parianinae dentro de Olyreae (Ferreira et al. 2013a, b), é endêmico do Brasil. Suas duas espécies, *P. carvalhoi* e *P. lanceolata*, foram coletadas, até o momento, apenas no estado da Bahia (Ferreira et al. 2013a). *Parianella carvalhoi* é considerada “ criticamente em perigo” (Filgueiras et al., 2013). Os demais gêneros endêmicos são *Diandrolyra* e *Sucrea*, ambos com três espécies, além de *Reitzia*, que é monotípico. *Reitzia smithii*, caracterizada pelo antécio fortemente zebrado, é considerada “Vulnerável” (Filgueiras et al., 2013). *Diandrolyra tatiana*, embora ocorra na Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, é considerada “Em perigo” porque suas populações ocorrem em locais que sofrem com o desmatamento, o uso do fogo e a extração de madeira (Filgueiras et al., 2013).

Na avaliação de Oliveira et al. (2006), a maior riqueza e as maiores taxas de endemismo de Olyreae ocorrem na Bahia, onde as espécies estão se tornando gradativamente mais raras pela crescente fragmentação da mata atlântica, seu hábitat preferencial.



FOTOGRAFIAS: PEDRO L. VIANA

Figura 1. Representantes da tribo Olyreae ocorrentes no Brasil.
 (A) *Olyra obliquifolia* Steud.; (B) *Olyra latifolia* L.; (C) *Olyra glaberrima* Raddi;
 (D-E) *Pariana* sp.; F. *Piresia goeldii* Swallen; (G) *Raddiella minima* Judz.
 & Zuloaga; (H) *Parodiolyra micrantha* (Kunth) Davidse & Zuloaga;
 (I) *Lithachne horizontalis* Chase

Bambuseae - Na tribo Bambuseae, dois gêneros se destacam, *Chusquea* e *Merostachys*, ambos com 44 espécies, sendo 41 endêmicas. Estes são os dois maiores gêneros de Bambuseae no Brasil.

Merostachys apresenta colmos predominantemente fistulosos (medulosos em *M. medullosa*, às vezes sólidos na base em *M. ternata*) e nó com uma única gema que logo se desenvolve em múltiplas ramificações, resultando num meristema em forma de leque que praticamente envolve todo o colmo, padrão conhecido como ramificação apsidada. As espécies distribuem-se de norte a sul do Brasil, porém as regiões Sudeste e Sul são as mais ricas, com a maioria das espécies endêmicas. Segundo Filgueiras et al. (2013), uma série de espécies encontra-se ameaçada, entre elas *Merostachys abadiana*, *M. caucasi* (“ criticamente em perigo”) e *M. burmanii* (“Em perigo”). Por outro lado, embora *M. scandens* tenha sido considerada “ criticamente em perigo” (Filgueiras et al., 2013), a descoberta de novas populações no Rio de Janeiro e na ilha de Florianópolis (SC) sugere que o status de conservação da espécie deva ser reavaliado.

Chusquea é peculiar por apresentar colmo sólido e ramificação com gemas múltiplas e dimórficas em cada nó. As espécies são encontradas em todas as regiões do país, com destaque para os campos de altitude, onde se diversificam de maneira extraordinária e dão feição típica a esses ambientes subalpinos. Várias espécies apresentam hábito escandente, cujos colmos se debruçam sobre a vegetação formando graciosos pompons de grande efeito ornamental. Há espécies em diversas categorias de ameaça: *C. attenuata*, *C. erecta*, *C. heterophylla* e *C. pulchella* são consideradas “Em perigo”, enquanto *C. baculifera* e *C. tenuis* estão classificadas como “ criticamente em perigo” (Filgueiras et al., 2013).

Tanto *Merostachys* quanto *Chusquea* apresentam várias espécies com grande potencial ornamental que, infelizmente, ainda não foi devidamente avaliado pelos paisagistas brasileiros. Especialistas reconhecem a existência de inúmeras espécies novas, ainda não formalmente descritas, em ambos os gêneros. Nos próximos anos, espera-se a publicação de novos nomes nos dois grupos.

Um importante gênero de Bambuseae é *Guadua*, composto por bambus lenhosos de médio a grande porte, atingindo mais de 30 metros de altura e 15 centímetros de diâmetro. Distingue-se facilmente dos demais da tribo pela conspícua presença de espinhos nos nós, cujo número e formato variam entre as espécies. São reconhecidas 19 espécies nativas, cinco endêmicas, distribuídas em todo Brasil. Os especialistas apontam ainda a existência de várias espécies não descritas em praticamente todas as regiões do país. Apenas

G. magna consta na lista de espécies ameaçadas, porém *G. maculosa*, *G. refracta* e *G. virgata*, todas da região Centro-Oeste, podem, a rigor, ser consideradas presumivelmente extintas, pois são conhecidas apenas através do material tipo, coletado há mais de 50 anos. O gênero precisa de urgente avaliação taxonômica no Brasil devido à enorme importância econômica e ecológica. *Guadua superba*, que ocorre no Acre, Amazonas e Pará, e cujos colmos atingem 30 metros de altura e 15 centímetros de diâmetro, é considerado o bambu nativo mais alto no Brasil. Uma espécie (*Guadua* sp.) que ocupa grandes extensões no estado do Acre permanece não identificada apesar da grande importância na economia regional. Atualmente, pode-se apenas afirmar que se trata de espécie com grande afinidade morfológica com *G. angustifolia*. O assunto encontra-se sob investigação por Filgueiras e Shirasuna, ambos do Instituto de Botânica de São Paulo. *Guadua paniculata* é a espécie de mais ampla distribuição, estendendo-se desde o México até o Brasil, onde ocorre desde o Pará até o Rio Grande do Sul. Outras espécies abundantes são *G. weberbaueri*, *G. tagoara* e *G. sarcocarpa*.

O gênero *Aulonemia*, com 16 espécies, sendo 15 endêmicas, é constituído por taquaras finas, de hábito ereto ou apoiante na vegetação, rizoma paquimorfo ou anfimorfo e colmo fistuloso. *Aulonemia aristulata* é a espécie de mais ampla distribuição, enquanto outras, como *A. cincta*, *A. prolifera*, *A. xerophylla*, além de endêmicas são também de distribuição restrita. *A. deflexa* foi encontrada no Brasil apenas no Monte Roraima, na fronteira com a Venezuela, enquanto *A. effusa* é típica dos campos rupestres de Minas Gerais e Bahia, sendo a única a habitar os campos rupestres propriamente ditos, onde ocorre entre pedras. Suas elegantes inflorescências são coletadas para arranjos florais secos, fato que coloca a espécie numa posição frágil no aspecto da conservação, pois a retirada de cariopses certamente afeta o recrutamento de jovens. *Aulonemia goyazensis*, conhecida apenas de coletas antigas provenientes da região serrana do estado do Rio de Janeiro, foi considerada presumivelmente extinta (Viana, 2010).

Atractantha e *Colantheia* apresentam seis espécies, cinco das quais endêmicas. *Atractantha* exhibe distribuição disjunta, ocorrendo nos estados do Amazonas, Bahia e Espírito Santo, enquanto *Colantheia* é encontrada apenas no Sudeste e no Sul do país. *Colantheia macrostachya* ocorre no Rio de Janeiro e em São Paulo, e é considerada “Em perigo” (Filgueiras et al., 2013). *Colantheia distans* é a espécie menos conhecida do gênero, havendo apenas pequenos fragmentos coletados em 1835 no alto do Pico do Itacolomi, situado na divisa entre os municípios de Mariana e Outro Preto, em Minas Gerais, a cerca de 1.700 metros acima do nível do mar.

Myriocladus, com cinco espécies, nenhuma delas endêmica, está restrito ao estado do Amazonas, onde ocorre exclusivamente sobre os notáveis tepuis quartzíticos do planalto das Guianas. *Eremocaulon*, também com cinco espécies, três delas endêmicas, ocorre nas regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste, enquanto *Arthrostylidium*, com quatro espécies, todas endêmicas, é exclusivo da região amazônica, ocorrendo no Amazonas, no Pará e em Rondônia. O gênero *Alvimia*, com três espécies endêmicas, é exclusivo da Bahia e constituído por plantas delgadas, escandentes com peculiares frutos carnosos, semelhantes a azeitonas, de cor vermelha na maturidade. Esse tipo de cariópse (bacoide) pressupõe dispersão por mamíferos (Filgueiras, 1986), porém ainda não há comprovação de seu modo de dispersão por observação direta.

Rhipidocladum possui apenas duas espécies no Brasil. É um gênero que apresenta grande afinidade morfológica com *Merostachys* e, até certo ponto, também com *Actinocladum*. *Rhipidocladum* é encontrado nas regiões Norte, Centro-Oeste, Sul e Sudeste. São taquaras finas que se apoiam nas árvores circundantes e alcançam o dossel. Apresentam, tipicamente, complemento de ramos na forma quase apsidada. As duas espécies que compõem o gênero são raras, formando pequenas populações nas imediações de rios e riachos.

Filgueirasia, também com duas espécies, *F. arenicola* e *F. cannavieira*, é endêmico do Brasil, da região do cerrado (Guala, 2003). São plantas de porte arbustivo, cujos colmos em estágio vegetativo alcançam até dois metros de altura e entre dois e três centímetros de diâmetro. Os colmos reprodutivos, especiais, apresentam morfologia distinta dos colmos vegetativos, sendo mais longos, com poucas folhas e com grande número inflorescências, alcançando entre três e quatro metros de altura. Ambas as espécies crescem a pleno sol e permanecem verdes durante o período de estiagem, tornando-se importante recurso forrageiro alternativo para o gado criado em regime de pastagem nativa. O Ministério do Meio Ambiente pretende incluir os nomes das duas espécies em seu programa de domesticação de gramíneas nativas com potencial forrageiro (Coradin, comunicação pessoal).

Actinocladum, *Apoclada*, *Athroostachys*, *Cambajuva* e *Glaziophyton* são gêneros endêmicos e monotípicos. *Actinocladum verticillatum* e *Cambajuva ulei* são plantas de porte arbustivo, atingindo entre dois e três metros de comprimento e cerca de dois ou três centímetros de diâmetro. *Actinocladum verticillatum* apresenta colmo meduloso e três tipos de folhas: folhas do colmo, folhas das ramificações e folhas especiais, largas, no ápice do colmo vegetativo. Sua distribuição é ampla, ocorrendo no Amazonas em áreas campestres, e na Bahia, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais,



São Paulo e Pará. A não ser a destruição de seu habitat natural, não há ameaças a esta espécie. O Ministério do Meio Ambiente pretende incluir também o nome dessa espécie em um livro sobre plantas nativas com potencial forrageiro (Coradin, comunicação pessoal).

Cambajuva ulei é exclusiva dos campos turfosos de altitude de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Viana et al., 2013), ambiente com ocasional ocorrência de neve. Conhecida localmente como cambajuva, essa espécie forma belas touceiras de folhas acinzentadas e colmos usualmente de coloração vinácea. Por sua distribuição restrita e ocorrência em ambientes relictuais, foi classificada como “Em perigo” por Filgueiras et al. (2013). *Glaziophyton mirabile*, espécie irmã de *Cambajuva ulei*, é uma planta *sui generis*, como o epíteto sugere. Sua esdrúxula aparência pouco lembra uma gramínea, menos ainda um bambu. Segundo Burman e Soderstrom (1990), *in vivo* as plantas lembram espécimes “monstruosos” de uma espécie norte-americana de junco (*Juncus effusus*), o que levou os dois a considerá-lo “o bambu mais estranho do mundo”. A espécie é encontrada unicamente em afloramentos rochosos nos picos mais altos da Serra dos Órgãos, no Rio de Janeiro, e é considerada “Em perigo”, de acordo com os critérios da IUCN aplicados por Filgueiras et al. (2013).

Apoclada é um gênero monotípico e endêmico. A espécie *A. simplex* tem porte médio, colmos elegantes, eretos, verdes ou arroxeados, e folhas das ramificações lineares e delicadas. São conhecidas apenas algumas populações no estado de Santa Catarina e uma em São Paulo (Guala, 1995; Filgueiras et al., 2015). As populações de Santa Catarina foram quase totalmente dizimadas pela extração de colmos para suprir a indústria moveleira. Em São Paulo, a situação não é melhor, pois as duas únicas subpopulações conhecidas são pequenas e expostas ao ataque de coletores ilegais, correndo grande risco de extinção local apesar de se encontrarem dentro de uma unidade de conservação. A espécie é considerada “Em perigo” (Filgueiras et al., 2013) e experimentos têm sido feitos por pesquisadores do Instituto de Botânica, em São Paulo, para seu cultivo *ex situ*, porém sem lograr êxito.

Athrostachys, também é monotípico (*A. capitata*) e endêmico. São plantas escandentes que alcançam cerca de oito metros de altura e possuem colmos de parede espessa, com pequeno lúmen. As bainhas das folhas das ramificações exibem proeminentes fímbrias e as inflorescências são capitadas. A espécie é restrita, até o momento, aos estados da Bahia e Minas Gerais.

Sob certas condições ecológicas especiais, algumas espécies de bambus nativos brasileiros se tornam codominantes ou mesmo dominantes em partes da Amazônia, na mata atlântica e no cerrado. Talvez o melhor



FOTOGRAFIAS: PEDRO L. VIANA, EXCETO C. POR VINICIUS A. O. DITTRICH.

Figura 2. Representantes da tribo Bambuseae ocorrentes no Brasil.
 (A) *Chusquea nutans* L.G. Clark; (B) *Chusquea pinifolia* (Nees) Nees;
 (C) O autor sênior no habitat de *Chusquea nutans*; (D-E) *Guadua macrostachya*
 Rupr.; (F-G) *Merostachys* sp.; (H) *Aulonemia effusa* (Hack.) McClure;
 (I) *Aulonemia soderstromii* P.L. Viana, Filg. & Judz

exemplo desse tipo de ocorrência seja a região dos tabocais do Acre, Amazonas e parte do Peru (Nelson et al., 2006; Silveira, 2001), onde dominam as *Guaduas* de colmo escandente (*Guadua sarcocarpa*, *Guadua* cf. *sarcocarpa* e *Guadua* sp.), mas também ocorrem espécies de *Merostachys*. Na mata atlântica o fenômeno é menos conspícuo, porém ocorrem aglomerados maciços de espécies de *Merostachys* e *Guadua*, por exemplo, *Merostachys fisheriana* no Espírito Santo e *Guadua tagoara* no litoral de São Paulo. No cerrado, no oeste do estado da Bahia, nos arredores do Parque Nacional Grande Sertão Veredas, havia, por volta de 1990, enorme população contínua, com cerca de 20 hectares, de *Actinocladum verticillatum*, denominada localmente como grameal (cf. Filgueiras, 2002). Infelizmente, não há comprovação recente da existência dessa população. São também conhecidas ao longo do cerrado enormes populações das espécies do gênero *Filgueirasia*, estimadas em vários hectares. Obviamente, em todas essas circunstâncias, tais sinúsias mais ou menos contínuas perduram somente durante os intervalos, geralmente longos, entre episódios de floração gregária. Após a floração, segue-se a morte das plantas e a paisagem e a fitossociologia da área mudam drasticamente.

SUGESTÕES DE PESQUISA - Um panorama geral dos estudos sobre bambus nativos no Brasil foi apresentado por Filgueiras e Santos-Gonçalves (2006) no Primeiro Simpósio Nacional sobre Bambu, realizado em Brasília. De lá para cá, vários avanços podem ser registrados. De fato, os estudos sobre bambus nativos no Brasil estão em franca expansão e têm ganhado qualidade, porém ainda resta muito a ser feito. Levantamentos florísticos sistemáticos precisam ser realizados em todo o território nacional, especialmente na mata atlântica e na Amazônia. No momento da coleta de material de herbário para estudo florístico e taxonômico, materiais devem ser coletados simultaneamente para estudos anatômicos e moleculares. Estudos de taxonomia filogenética de distintos grupos dentro da subfamília devem ser encorajados como prioritários.

Não menos importante é a carência de pesquisas relacionadas à conservação e avaliação dos recursos genéticos dos bambus brasileiros. Além da imperativa necessidade de ampliação do conhecimento básico sobre florística e distribuição geográfica das espécies, o entendimento dos processos relacionados à reprodução sexuada das espécies nativas é fundamental para interpretação e avaliação dos padrões de diversidade genética e de seu estado de conservação. Paralelamente, estudos com abordagem filogeográfica, com ênfase nos processos históricos de especiação, diversificação e distribuição, podem lançar luz sobre os padrões de diversidade e distribuição atual das

espécies, assim como projetar cenários em um panorama futuro de fragmentação florestal e mudanças climáticas.

Atualmente, apenas um pequeno grupo de pesquisadores, menos de dez deles com título de Doutor, se dedica ao estudo da taxonomia e filogenia dos bambus nativos. No entanto, a demanda por informações atualizadas e relevantes é grande, o que faz com que a formação de recursos humanos nessa área seja prioritária. Sugere-se aqui que as agências de fomento e apoio à pesquisa básica no país publiquem editais direcionados ao estudo dos bambus nativos e à formação de recursos humanos na área.

O uso dos bambus nativos vem sendo praticado no Brasil desde seu descobrimento, uma vez que os indígenas já nessa época usavam livremente o recurso (Filgueiras & Santos Gonçalves, 2006). Atualmente, é preciso que o uso do bambu seja feito com base em dados gerados por pesquisa. Os bambus são um dos recursos naturais que mais apresentam oportunidade para exploração econômica direta e sustentável. A industrialização da matéria prima no local é, sem dúvida, uma alternativa a ser explorada em contraponto à exportação da matéria bruta. Os bambus nativos representam uma oportunidade para pôr em prática o uso sustentável da biodiversidade nacional, colocando-a a serviço da sociedade brasileira do presente e do futuro.

Conclusões

1. No Brasil, atualmente são conhecidas 258 espécies de bambus nativos, distribuídos em duas tribos, Olyreae e Bambuseae, e 35 gêneros. A tribo Olyreae, de bambus herbáceos, é constituída por 17 gêneros e 93 espécies. A tribo Bambuseae, com bambus de colmos lignificados ou lenhosos, constitui-se de 18 gêneros e 165 espécies.
2. O endemismo no Brasil é alto: são 12 gêneros e 175 espécies.
3. Há 23 espécies formalmente consideradas ameaçadas de extinção, um número elevado ainda que o panorama deva se modificar com o acúmulo de conhecimento sobre as espécies.
4. Sob certas condições ecológicas, os bambus nativos formam populações densas, dominantes ou subdominantes, conhecidas como sinúsias, que persistem enquanto dura o intervalo entre duas florações gregárias consecutivas.

5. Há extrema necessidade de ampliação dos estudos sobre taxonomia, evolução e conservação dos bambus nativos do Brasil, como também de formação de recursos humanos altamente qualificados para atuar na pesquisa e conservação dessas plantas.

Referências

- AHMED, F. U.; DAS, S. Flowering in *Bambusa vulgaris* Schrad. **Indian Forester**, v.112, p.275-276, 1986.
- BOLDRINI, I. I.; LONGHI-WAGNER, H. M.; BOECHAT, S. C. **Morfologia e taxonomia de gramíneas sul-riograndenses**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 87p.
- BURMAN, A. G.; SODERSTROM, T. R. In search of the world's oddest bamboo, *Glaziophyton mirabile*. **Botanical Gardens Conservation News**, v.1, p.27-31, 1990.
- FERREIRA, F. M.; HOLLOWELL, V.; VAN DEN BERG, C.; OLIVEIRA, R. P. *Parianella* (Poaceae, Bambusoideae): morphological and biogeographical information reveals a new genus of herbaceous bamboos from Brazil. **Phytotaxa**, v.77, p.27-32, 2013a.
- FERREIRA, F. M.; DÓREA, M. C.; LEITE, K. R. B.; OLIVEIRA, R. P. *Eremitis afimbriata* and *E. magnifica* (Poaceae, Bambusoideae, Olyreae): two remarkable new species from Brazil and a first record of blue iridescence in bamboo leaves. **Phytotaxa**, v.84, p.31-45, 2013b.
- FILGUEIRAS, T. S. O conceito de fruto em gramíneas e seu uso na taxonomia da família. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, p.93-100, 1986.
- FILGUEIRAS, T. S. A floração dos bambus e seu impacto ecológico. **Eugeniana**, v.15, p.1-8, 1988.
- FILGUEIRAS, T. S. Herbaceous plant communities. In: OLIVEIRA, P. & MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Brasil**. New York: Columbia University Press, 2002, p.121-139.
- FILGUEIRAS, T. S.; PEREIRA, B. A. S. O taquari, *Actinocladum verticillatum*, bambu forrageiro do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.1053-1055, 1984.
- FILGUEIRAS, T. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P. Bambus nativos no Brasil: oportunidades e desafios para seu conhecimento. **Anais do seminário nacional de bambu**, Brasília, 2006, p.33-42.
- FILGUEIRAS, T. S.; OLIVEIRA, R. P.; SFAIR, J. C.; MONTEIRO, N. P.; BORGES, R. A. X. Poaceae. In: MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (Ed.). **Livro vermelho da flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013, p. 858-881.
- FILGUEIRAS, T. S.; CANTO-DOROW, T. S.; CARVALHO, M. L. S.; DÓREA, M. C.; FERREIRA, F. M.; MOTA, A. C.; OLIVEIRA, R. C.; OLIVEIRA, R. P.; REIS, P. A.; RODRIGUES, R. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P.; SHIRASUNA, R. T.; SILVA, A. S.; SILVA, C.; VALLS, J. F. M.; VIANA, P. L.; WELKER, C. A. D.; ZANIN, A.; LONGHI-WAGNER, H. M. Poaceae. In: **Lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB193>>. Acesso em 20 mai. 2015.
- GUALA, G. A cladistic analysis and revision of the genus *Apoclada* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae). **Systematic Botany**, v.20, p.207-223, 1995.
- GUALA, G. A new genus of bamboos from the Cerrados of Brazil. **Bamboo Science and Culture**, v.17, p.1-3, 2003.
- GPWG – GRASS PHYLOGENY WORKING GROUP. New grass phylogeny resolves deep evolutionary relationships and discovers C₄ origins. **New Phytologist**, v.193, p.304-312, 2011.

- IUCN. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Gland, Switzerland and Cambridge: IUCN Species Survival Commission, 2001. 30p.
- JANZEN, D. H. Why bamboos wait so long to flower. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.7, p.347-391, 1976.
- JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK, L. G.; LONDOÑO, X.; STERN, M. J. **American bamboos**. Washington, D.C: Smithsonian Institution Press, 1999. 392p.
- KELCHNER S. A.; Bamboo Phylogeny Group – BPG. Higher level phylogenetic relationships within the bamboos (Poaceae: Bambusoideae) based on five plastid markers. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v.67, p.404-413, 2013.
- Lista de Espécies da Flora do Brasil – LEFB. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em 20 mai. 2015
- MARTINELLI, G.; MORAES, M.A. (Org.). **Livro vermelho da flora do Brasil**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Centro Nacional de Conservação da Flora, 2013. 1100p.
- McCLURE, F.A. **The bamboos**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1993. 368p.
- NADGAUDA, R. S.; JOHN, C. K.; JOSHI, M. S.; PARASHARAMI, V. A.; MASCARENHAS, A. F. Application of *in vitro* techniques for bamboo improvement. In: CHAPMAN, G. P. (Ed.). **The bamboos**. San Diego: Academic Press, 1997, p.163-177.
- NELSON, B. W.; OLIVEIRA, A. C.; VILDALENC, D.; SMITH, M. Florestas dominadas por tabocas semi-escandentes do gênero *Guadua* no sudeste da Amazônia. In: **Seminário Nacional de Bambu**. Anais. Brasília, 2006, p.49-55.
- OLIVEIRA, R. P.; LONGHI-WAGNER, H. M.; JARDIM, J. G. Diversidade e conservação dos bambus herbáceos (Poaceae: Bambusoideae: Olyreae) da Mata Atlântica, Brasil. In: **Seminário Nacional de Bambu**. Anais. Brasília, 2006, p.62-66.
- SILVEIRA, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. 2001. 109p. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília.
- SORENG, R. J.; PETERSON, P. M.; ROMASCHENKO, K.; DAVIDSE, G.; ZULOAGA, F. O.; JUDZIEWICZ, E. J.; FILGUEIRAS, T. S.; DAVIS, J. I.; MORRONE, O. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). **Journal of Systematics and Evolution**, v.53, p.117-137, 2015.
- STACE, O. A. **Plant taxonomy and biosystematic**. Cambridge: University Press, 1991. 272p.
- TYRRELL, C.; SANTOS-GONÇALVES, A. P.; LONDOÑO, X.; CLARK, L. G. Molecular phylogeny of the Arthrotyliidioid bamboos (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Arthrotyliidiinae) and new genus *Didymogonyx*. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v.65, p.136-148, 2012.
- VELLER, C.; NOWAK, M. A.; DAVIS, C. C. Extended flowering intervals of bamboos evolved by discrete multiplication. **Ecology Letters**, online first, 2015.
- VIANA, P. L. **O gênero Aulonemia Goudot (Poaceae, Bambusoideae) no Brasil**. 2010. 272p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- VIANA, P. L.; FILGUEIRAS, T. S.; CLARK, L. G. Cambajuva (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Arthrotyliidiinae), a New Woody Bamboo Genus from Southern Brazil. **Systematic Botany**, v.38, p.97-103, 2013.
- ZHAO, X.-Y.; WANG, X.-Y.; ZHAO, L.; ZHANG, X.-M.; CHEN, S.-Y.; MA, P.-F.; HU, X.-Y.; LI, D.-Z.; GUO, Z.-H. Investigatin the microRNAomes of two developmental phases of *Dendrocalamus latiflorus* (Poaceae: Bambusoideae) inflorescences. **Plant Molecular Biology Reporter**, online first, 2014.



Cultivo, manejo e colheita do bambu

Denilson de Oliveira Guilherme⁽¹⁾, Nathalia Pereira Ribeiro⁽²⁾, Marney Pascoli Cereda⁽³⁾

⁽¹⁾ Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Av. Tamandaré, 6000, JD Seminário, CEP 79117-900, Campo Grande, MS, Brasil. E-mail: denilsond@gmail.com

⁽²⁾ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco. E-mail: nathaliaribeiro15@hotmail.com

⁽³⁾ Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio, Universidade Católica Dom Bosco. E-mail: cereda@ucdb.br

Resumo – O manejo do bambuzal é de suma importância para o sucesso da cadeia produtiva, uma vez que seus colmos possuem grande versatilidade, podendo servir de matéria prima para o setor de artesanato, indústria e construção civil. Entretanto, embora seja um cultivo antigo e bem implantado na América Latina, no Brasil pouco se conhece sobre os dados fitotécnicos da cultura do bambu. Diante disso objetivou-se nesta revisão bibliográfica reunir as informações acerca do cultivo e manejo de bambuzais.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: FLORESTA, CRESCIMENTO, COLMO.



Cultivation , management and harvesting of bamboo

Abstract – *The management of bamboo forests is of paramount importance for the success of the productive chain, since their stems have great versatility and serve as raw material for the craft sector, industry and construction. However, although it is an old and well established crop in Latin America, in Brazil, little information is available about the phyto technical planning of the bamboo crop. Therefore this bibliographical review aims to collect information on the cultivation and management of bamboo groves.*

INDEX TERMS: FOREST, GROWTH, STEM.

Introdução

O bambu (*Bambusa* sp.) é uma planta da família das gramíneas, subfamília Bambusoideae, que é dividida em duas tribos: Bambuseae, com espécimes de maior porte e colmos lenhosos; e Olyreae com espécies de menor porte, herbáceo. Originário da Malásia, o bambu possui folhas acuminadas (que se afinam nas pontas) e flores inicialmente verdes, que depois se tornam amareladas e pardo-claras, com espiguetas paniculadas (decrecendo da base para o ápice, assumindo forma de pirâmide). A planta floresce entre 30 e 60 anos (Azzini, 1982). A morfologia do bambu é bem peculiar, sendo que a planta cresce por meio de rizomas subterrâneos (caules modificados) dos quais saem as raízes e os colmos (figura 1).

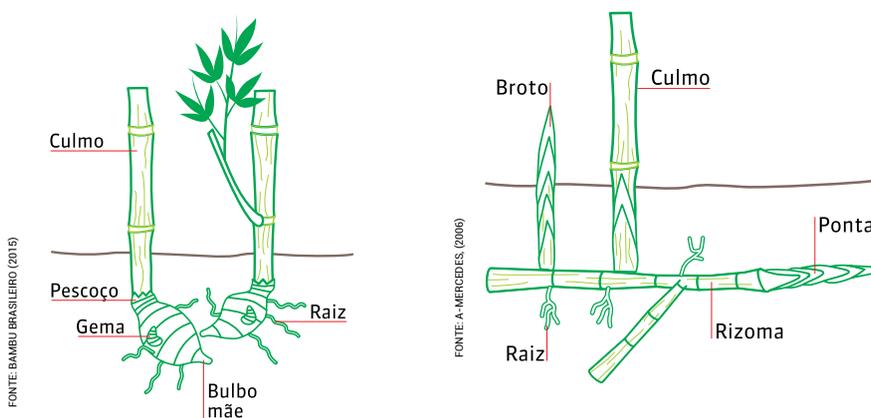


Figura 1. Morfologia do crescimento de uma planta de bambu

Como matéria-prima, o bambu tem grande relevância econômica (Azzini & Ciaramello, 1971; Embaye et al., 2005), ambiental e sociocultural (Ramanayake, 2006) e vem ganhando espaço em vários setores da sociedade como material complementar ao uso da madeira (Gutiérrez, 2000). Apesar disso, ainda passa por um processo de difusão de tecnologia com poucos plantios comerciais, devido a fatores fitotécnicos que continuam a representar desafios para agricultores e pesquisadores em sua exploração de maneira sustentável para dar suporte ao setor industrial.

As plantas de bambu são encontradas em florestas nativas em regiões de climas predominantemente temperados e zonas tropicais com grande precipitação, o que contribui para o seu desenvolvimento ótimo (Pereira & Beraldo, 2007).

Nas Américas, principalmente na sua região sul, são encontrados 40% das espécies de bambus lenhosos do mundo, aproximadamente 320 espécies em 22 gêneros. O Brasil é o país com maior diversidade, reunindo 81% dos gêneros (Londoño, 2004). Sua exploração, no entanto, ainda é pequena diante da sua versatilidade. Em outros países, como a Colômbia e Equador, o bambu é usado como material de construção popular não somente para construção civil, mas também na criação de agroindústrias, o que fomenta o desenvolvimento rural.

Embora no Brasil a exploração do bambu seja objeto de uma lei de 2011 (Lei nº12484 de 8 de setembro de 2011), que incentiva seu manejo sustentável e cultivo, tal cultura ainda requer maior aporte tecnológico para que sejam produzidos colmos com padrão para comercialização. As diretrizes da PNMCB (Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu) reconhecem que a cadeia produtiva do bambu ainda necessita de muito investimento para que este seja valorizado como produto agro-silvo-cultural capaz de servir como fonte de renda para regiões baseadas na agricultura familiar. Também necessária é a oferta de assistência técnica durante o ciclo produtivo, prevista pela lei em seu artigo 4.

Material e métodos

PROPAGAÇÃO COMERCIAL - De um modo geral, a propagação de bambu ainda é complexa devido aos métodos existentes até o momento. Pouco se sabe sobre esse assunto, principalmente quando se trata de multiplicação rápida e em grandes quantidades de mudas. Na maioria dos casos, a multiplicação de bambus demanda grande apoio logístico no que diz respeito à mão de obra e a recipientes, substrato e transporte (Salgado & Grego, 2002).

A obtenção de mudas é a primeira das dificuldades na implantação da cultura em larga escala (Azzini & Ciaramello, 1971). De acordo com Azzini e Salgado (1993), a falta de um método adequado de propagação do bambu tem sido um dos principais fatores limitantes para exploração do bambu como matéria-prima fibrosa, pois os métodos de propagação existentes se baseiam na subdivisão das touceiras ou no plantio de pedaços de colmos.

Desde 2006, institutos de pesquisas e até mesmo as indústrias modernas com interesse no cultivo do bambu vêm investindo em tecnologias que melhorem a propagação dessas plantas com o intuito de elevar a qualidade genética e fitossanitária das mudas e reduzir os custos de produção, transporte e expansão da cultura, investindo na implantação de novas áreas de cultivo (Lemos et al., 2006).

MÉTODOS DE REPRODUÇÃO E PROPAGAÇÃO DE BAMBU - Em relação aos métodos de propagação do bambu, algumas pesquisas importantes foram realizadas na América Latina, em particular na Colômbia. Tais pesquisas têm buscado desenvolver métodos velozes de produção em larga escala de indivíduos de alta qualidade.

A REPRODUÇÃO SEXUAL - A reprodução sexual ocorre por meio de plantio utilizando sementes. A adoção desse método em escala industrial é inviável devido a dois fatores: a planta pode demorar até 60 anos para florescer (Azzini, 1982); e as sementes de bambu são viáveis apenas por algumas semanas ou meses (Kigomo, 2007). Além disso, as plantas produzidas a partir de sementes têm crescimento muito lento (Cortes, 2013).

Devido ao grande intervalo de tempo entre as florações, a propagação artificial ou induzida do bambu se processa mais comumente por via vegetativa (Cortes, 2013). De acordo com Ferreira (2014), a floração do bambu é monocárpica, ou seja, cada população individual apresenta um único evento com floração e frutificação maciça e sincrônica, seguida de mortalidade de toda população, com tempo médio de vida entre 27 e 28 anos. De acordo com o mesmo autor, esse evento ocorre por ser o bambu uma planta clonal, suportada por uma extensa teia de rizomas subterrâneos.

PROPAGAÇÃO ASSEXUADA - Dentre os métodos mais utilizados para a propagação de bambu se destaca a via assexuada, que utiliza várias partes da planta como, por exemplo: pedaços de rizomas ou raízes e segmentos de caule em crescimento (Matos Jr., 2004).

A propagação do bambu pode ser realizada por meio da divisão de touceiras, método pelo qual os caules serão cortados acima do segundo ou terceiro nó tendo como referência a base do colmo, dividindo-se em três, quatro ou cinco hastes iniciais (Azzini & Salgado, 1993). As mudas das espécies leptomorfais ou alastrantes são obtidas com maior facilidade por meio de fragmentos de rizomas, tendo em vista a grande disponibilidade e a boa viabilidade desse tipo de material (Cortes, 2013).

Um dos experimentos de Azzini e Salgado (1993) utilizando bambu determinou a porcentagem de enraizamento de três tipos de material meristemático (grupo de células que faz com que a planta cresça) de bambu: placas de colmos contendo gemas primárias não brotadas que foram obtidas na região basal dos colmos, circundadas por uma porção retangular do internódio na forma de placas de colmo. Após 110 dias, a maior porcentagem de enraizamento foi obtida com as placas de colmo. As placas de colmo podem ser obtidas em grande quantidade durante a colheita normal dos colmos e, em função de suas dimensões e forma, são facilmente armazenadas e transportadas.

PROPAGAÇÃO POR MEIO DE CHUSQUINES (MÉTODO COLOMBIANO) - Os chusquines são pequenas brotações em crescimento com raízes unidas por convergência ao rizoma mãe. Eles podem ter vários tamanhos e diâmetros. A altura varia de 10 a 30cm e o diâmetro, de 1 a 2,5mm (Fao, 2007). Esse método é muito utilizado na Colômbia e Costa Rica (figura 2).

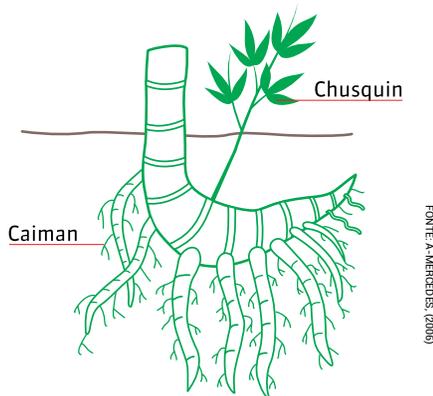


Figura 2. Esquema de um chusquin

Para a espécie *Guadua* sp. cada indivíduo pode produzir de sete a dez chusquines em quatro meses. Esse método é o mais recomendável para esta espécie, devido ao alto índice de sobrevivência das mudas, que fica próximo a 80% (Castaño & Moreno, 2004).

Em monitoramento do desenvolvimento de chusquines, observou-se que na primeira fase do desenvolvimento os brotos são pequenos e finos, mas cumprem o papel de colonização da área que é plantada. Em seguida, começam a aparecer rebentos com duas vezes o diâmetro da primeira fase, sendo a altura proporcional ao diâmetro das plantas (Cortes, 2013).

Normalmente o cultivo de chusquines é feito em um local apropriado, que é chamado banco de propagação, com adubação adequada, gerenciamento de umidade e controle de planta daninha, podendo chegar a 10 brotos em 90 dias, em média (Cortes, 2013).

ESPÉCIES E MÉTODOS DE PROPAGAÇÃO - O método de propagação para qualquer espécie vegetal varia em função de diversos fatores, tais como vigor da planta matriz, condições ambientais favoráveis, substrato adequado, dentre outros (Hartmann et al., 2011). Com o bambu não é diferente, principalmente quando o método de propagação é vegetativo.

O bambu *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante) possui ramificações primárias no terço superior do colmo. Estas são as partes mais viáveis para a propagação dessa espécie e normalmente são descartadas no momento da colheita. Cada colmo pode reproduzir de três a cinco novas mudas através da propagação por secção de colmo. A espécie *Guadua angustifolia* é propagada facilmente através do método de chusquines, o que permite produzir em massa material de alta qualidade em um curto espaço de tempo e com baixo custo (Souza, 2010). Para a espécie *Phyllostachys bambusoides* (bambu madake) a propagação se dá por meio de brotações do rizoma.

PROPAGAÇÃO IN VITRO - A propagação *in vitro* refere-se, principalmente no caso do bambu, ao cultivo de fragmentos de tecido vegetal ou de gemas sob condições assépticas, em meios nutritivos adequados, dispondo de luz, temperatura e umidade controladas, com o objetivo de obter uma rápida multiplicação de plantas vigorosas e sadias (Caldas, 1998; Cid, 2001). Essa técnica tem sido bastante empregada para multiplicação e conservação de material genético (Generoso, 2014).

PLANTIO - A época de plantio do bambu varia conforme a espécie. Para espécies entouceirantes, o plantio é recomendado na época das chuvas. Já para as alastrantes, o período de seca é melhor (Azzini et al., 1997).

O plantio deve ser realizado nas primeiras horas da manhã, o que aumenta as chances de pegamento das mudas (Akira et al., 2007). Eventualmente, pode ser necessária a realização de novos plantios na área para co-

brir falhas devido à mortalidade das plantas (National Mission of Bamboo Applications, 2004).

É importante plantar o bambu em locais sombreados ou sob coberturas provisórias em viveiros para diminuir a evaporação dos transplantes e promover um bom enraizamento (National Mission of Bamboo Applications, 2004; Matos Jr., 2004). Embora possam ocorrer a partir de 40m até 2400m acima do nível do mar, essas plantas se desenvolvem melhor em altitude entre 900m e 1600m (Souza, 2010).

Quanto à necessidade de chuvas, de maneira geral os bambus se desenvolvem bem com precipitações iguais ou superiores a 1.200 mm anuais (Lima Neto et al., 2010).

As mudas de bambu devem ser transplantadas para áreas que possuam topografia plana ou com suaves ondulações, que são mais adequadas para o cultivo. Esses terrenos permitem um melhor revolvimento do solo com a operação de aração e melhoram a eficiência do trabalho de plantio, manutenção, colheita e transporte dentro das plantações, o que reduz os custos globais de produção (*Guadua Bamboo*, 2007).

Alguns estudos foram feitos com cultivo integrado utilizando bambu como espécie de sub-bosques em plantações de teca. Além de diversificar a área, essa técnica aumenta o nível de preservação da fertilidade dos solos, pois a serapilheira que se forma do bambu tende a se acumular no chão da floresta (Chrisrunty et al., 1996).

Esse acúmulo de decomposição de serapilheira que ocorre em plantações de bambu é visto como um fator chave para restaurar a fertilidade durante o período de pousio de mudança de sistemas de cultivo (Chrisrunty et al., 1996). Dessa forma, o sistema é capaz de recuperar a maior parte dos nutrientes lixiviados mais fundo no perfil do solo durante dois anos de cultivo. Sendo assim, o cultivo anterior de bambu se torna interessante pois o mesmo diminui os custos com fertilidade de uma cultura que será instalada posteriormente (Chrisrunty et al., 1996).

MANEJO

Preparo do solo - Antes do preparo do solo, deve-se realizar a coleta de amostras para análise em laboratório e, de posse dos resultados, deve-se fazer a recomendação para adubação de plantio e de manutenção da cultura já com previsão da extração necessária ao bom desenvolvimento da planta, sem, no entanto, exaurir as reservas naturais do solo (Souza, 2010), pois se o solo não se adequar às exigências do bambu pode resultar um baixo crescimento e, conseqüentemente, baixos retornos econômicos (*Guadua Bamboo*, 2010).

A análise química do solo deve ser realizada em três níveis de profundidades (0-20; 20-40; e 40-60 cm), as amostras devem estar homogeneizadas e após a coleta é necessário acondicioná-las em sacos plásticos etiquetados (Mendes et al., 2010).

Roçada manual ou mecanizada - Antes da implantação da área de bambu, deve-se rebaixar a vegetação existente, em até 0,10 metro do solo, para se fazer a alocação das mudas (DER/SP, 2007). A presença de outras vegetações pode influenciar negativamente no crescimento dos rizomas, raízes e diminuir a capacidade de rebrota dos colmos do bambu (Chrisrunty et al., 1996).

Durante a condução deve-se realizar frequentemente a poda de alguns ramos, folhagens e brotos de bambu e assim evitar a interferência do sombreamento das plantas durante os 2 primeiros anos de cultivo (Chrisrunty et al., 1996).

Aplicação mecanizada de herbicida - Essa operação consiste na eliminação de plantas invasoras das áreas destinadas ao plantio por meio da aplicação de herbicidas. O produto deverá ser adquirido mediante receituário agrônômico, seguindo-se rigorosamente as orientações de profissional habilitado; a aplicação deverá respeitar criteriosamente as recomendações dos fabricantes constantes no rótulo do produto (DER/SP, 2007).

Combate a formigas cortadeiras e cupins - Deve-se fazer a eliminação ou controle de formigas cortadeiras e cupins existentes nas áreas destinadas ao projeto e proximidades. Após a roçada, estando a área desimpedida, a mesma deverá ser percorrida para a destruição dos formigueiros e cupinzeiros. Para fins de combate, as formigas deverão ser identificadas quanto ao gênero, visando a escolha do método mais adequado: *Atta* sp. (Saúva) e *Acromyrmex* sp. (Quem-quem). As técnicas e doses serão as usuais, recomendadas pelos fabricantes, e a operação de combate deverá ser repetida periodicamente até pleno desenvolvimento das mudas (DER/SP, 2007).

Após os resultados da análise, deve ser feita, se necessário, a correção do pH do solo por meio da aplicação de calcário em área total. A quantidade de calcário a ser aplicado será definida com base na análise de solo previamente realizada.

Tipo de solo e correção do pH - O fator solo no cultivo do bambu é um assunto pouco estudado no Brasil. As experiências mais significativas estão no Nordeste, nas grandes áreas de *Bambusa vulgaris* destinadas à produção de celulose. Considerando a grande diversidade de solos existentes no Brasil,

tais estudos seriam de grande importância para os cultivos comerciais dessa planta (Silva, 2005).

Segundo experimentos realizados por Azzini e Ciaramelo (1971), os solos mais adequados para o desenvolvimento pleno da cultura do bambu devem ser férteis, soltos e bem drenados, com pH entre 5,0 e 6,5.

Subsolagem - Essa operação consiste no rompimento da camada superficial do solo, principalmente aquela conhecida por “pé de arado”, situada à profundidade de 0,20 a 0,30 metro da superfície das áreas mecanizáveis. A operação deverá ser realizada com subsolador que, acoplado a trator agrícola, é capaz de romper de 0,40 a 0,60 metro de profundidade. A subsolagem deverá ser conduzida sempre no sentido das curvas de nível do terreno, na linha de plantio (DER/SP, 2007).

Adubação - A nutrição das plantas utilizando a adubação é de extrema importância, pois no início da brotação das mudas é necessário que o solo esteja com quantidades boas de nutrientes (Kleinhenz & Midmore, 2001; Ueda, 1960).

De acordo com Kleinhenz e Midmore (2001), na estação úmida há um maior crescimento das plantas e as concentrações de nutrientes diminuem. Na época da seca há um pequeno acúmulo de biomassa, conseqüentemente um maior acúmulo e concentração dos nutrientes. Conforme a planta atinge 3 a 4 anos de idade, a concentração de nutrientes diminui, o que, provavelmente, está relacionado com o aumento da proporção de tecidos de baixa absorção de nutrientes tais como as partes lenhosas dos colmos.

O potássio, o nitrogênio e o fósforo são os elementos de maior requerimento e de maior conteúdo na biomassa total dos bambus e, em geral, estão na proporção 7:6:1 P (Kleinhenz & Midmore, 2001). O “K” é um elemento que pode ser temporariamente armazenado nos colmos para uso em momentos específicos, sendo o elemento com menor eficiência de uso pela planta e mais exportado do solo pela exploração de biomassa (Mendes et al., 2010).

Assim, para Kleinhenz e Midmore (2001) o “K” é elemento-chave na adubação do bambu, e na formulação de fertilizantes deve ter participação proporcionalmente maior (K>N>P). Esse fato foi constatado em experimentos com as folhas do bambu de diferentes espécies, idades e locais, nos quais a tendência para a seqüência de exigência de nutrientes foi de K>N>Ca >Mg>P (Kleinhenz & Midmore, 2001; Embaye et al., 2005).

Kleinhenz e Midmore (2001) afirmam que o rizoma é componente formador de colmos e sistema de transporte que conecta colmos velhos e novos pela drenagem de nutrientes recentemente absorvidos e metabolizados pela parte aérea.

Em estudos realizados por Mendes et al. (2010) foram analisadas as quantidades de nutrientes de diversas partes das plantas e o rizoma apresentou maior conteúdo de nutrientes em relação aos componentes da parte aérea da planta.

Espaçamento - O espaçamento utilizado nos plantios de bambus varia de espécie para espécie, principalmente em função do seu hábito de crescimento. Em trabalhos realizados por Pereira e Garbino (2003), o espaçamento utilizado para o cultivo de bambu *Dendrocalamus giganteus* foi de 8x8 m, com colheita de 400 colmos em 12 meses. O mesmo espaçamento foi utilizado por Souza (2010) em colheita planejada de 1.250 colmos por ano.

Cabe ressaltar que o espaçamento mais adequado varia de acordo com o genótipo de bambu a ser plantado.

Coveamento manual e mecanizado - Na realização das covas para plantio, o recomendado é que as mesmas possuam 60cm de profundidade. Se forem abertas mecanicamente com auxílio de trator, é recomendado que se utilizem perfuradores de solo de 12” e 18” acoplados ao trator (Souza, 2010).

QUALIDADE DAS MUDAS - A classificação das mudas em termos de qualidade é de fundamental importância em virtude da melhor adaptação e crescimento daquelas com melhor padrão de qualidade no plantio definitivo. Os principais parâmetros que indicam a boa qualidade de uma muda são: uniformidade de altura entre as mudas do lote, rigidez da haste principal (diâmetro de colo), aspecto visual vigoroso (sem sintomas de deficiência, tonalidade das folhas), ausência de estiolamento, ausência de pragas e doenças na folha, no caule e nas raízes, sistema radicular e parte aérea bem desenvolvida (Wendling et al., 2006).

Entretanto, para o bambu esse parâmetro ainda precisa ser melhor estudado, uma vez que há grande dificuldade para produção de mudas dessa espécie.

COLHEITA, TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO - A maioria dos trabalhos realizados com a cultura do bambu recomenda que sua colheita seja realizada nos meses mais frios e secos, pois os colmos com menor teor de umidade ficam mais leves, o que facilita tanto o corte quanto o transporte, além de evitar que os colmos trinquem (Department of Science and Technology, 2006).

Os bambus, quando verdes, perdem muita água ao serem retirados da touceira, podendo murchar e, portanto, perder resistência, o que impede seu uso estrutural. Quando o colmo apresenta líquens e fungos em sua superfície, é sinal de que está pronto para ser cortado (Mom, 2015). Além do mais, com

menos seiva circulando pelos colmos, eles estarão menos susceptíveis ao ataque de insetos e fungos.

O corte dos colmos deve ser feito aproximadamente a 20cm do solo, antes de um nó caulinar, para evitar a retenção de água nos colmos, a hospedagem de insetos e o apodrecimento das plantas. Recomenda-se utilizar serrotes, serras e motosserras para não lascar ou causar danos nos colmos (Peixoto, 2008). Recomenda-se colher bambus centrais, que são provavelmente os mais velhos e, portanto, mais resistentes (Mom, 2015). Após o corte dos colmos do bambu, passa-se às operações de tratamento e armazenamento.

O tratamento dos colmos de bambu deve ser feito para prolongar a durabilidade e a vida útil dos colmos. Também deve ser feito para que se evite o ataque do inseto *Dinoderus Minutus* (Oliveira et al., 2002), a broca, que se alimenta do amido existente nos colmos de bambu.

O tratamento dos colmos é outro desafio para o armazenamento e utilização do bambu. Vários métodos já foram utilizados com esse intuito, tais como banho frio (Galvão, 1967); químico (Espelho, 2007) e térmico (Colla et al., 2011). A escolha do método de tratamento depende de vários fatores, como o fim para que é usado, se está verde ou seco, qual a quantidade de canas a tratar, etc.

Em alguns lugares, a restrição ao uso do bambu deve-se à sua durabilidade, que pode ser de 1 a 3 anos sem tratamento em contato com o solo e de 4 a 6 anos sem tratamento e sem contato com o solo (Janssen, 2000). Mas o manejo adequado dos colmos é que irá garantir maior ou melhor durabilidade do seu uso.

Conclusões

1. A cultura do bambu no Brasil ainda se encontra em fase de expansão, com poucos plantios comerciais.
2. Embora possua exploração comercial e legislação própria, muitas pesquisas precisam ser feitas a fim de melhorar o manejo da cultura.
3. Alguns entraves têm contribuído para dificultar o manejo do bambu em larga escala. Dentre eles destacam-se protocolos estabelecidos para produção de mudas em larga escala. Há necessidade de maiores informações tecnológicas para facilitar o manejo do bambuzal e de incentivos econômicos para novos empreendimentos utilizando bambu, tanto em cultivo como em outros setores da sociedade.

4. A utilização do bambu se mostrou viável como matéria prima para diversas aplicações, inclusive na construção civil. No entanto, a maior utilização esbarra na falta de matéria prima, principalmente pela falta de mudas para novos plantios.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de recurso para o projeto aprovado Processo 574 516/2008-5.

Referências

- AKIRA, A.; SAKUMA, A. G.; DAMBISKI, L.; MORETTI, T. V. **Dossiê técnico-bambu**. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, 2007.
- AZZINI, A.; ARANHA, C.; PIO, R.M. Florescimento e frutificação em bambu. **Bragantia**, v.41, n.1, p.175-180, 1982.
- AZZINI, A.; SALGADO, A.L.B. Enraizamento de propágulos de bambu em diferentes substratos. **Bragantia**, v.52, n.2, p.113-118, 1993.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Bambu como matéria-prima para papel estudos sobre o emprego de cinco espécies de bambus a, na produção de celulose sulfato. **Bragantia**, n.23, v.30, p.305-319, 1971.
- AZZINI, A.; SANTOS, R.L.; PETTINELLI JÚNIOR, A. **Bambu: material alternativo para construções rurais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. (Boletim Técnico, 171).
- BAMBU BRASILEIRO. **Info Bambu – plantio e morfologia**. Disponível em: <<http://www.bamubrasileiro.com/info/plantio/index.html>>. Acesso em 27 ago. 2015.
- CAFEGA. **Multiplicação de chusquines de Guadua**. Blog. Disponível em: <<http://sena-car-menfernandez.blogspot.com.br/>>. Acesso em 27 ago. 2015.
- CASTAÑO, F.; MORENO, R.D. **Guadua para todos – cultivo y aprovechamiento. Proyecto manejo sostenible de bosques de Colombia**. Bogotá, 2004.
- CHRISTANTY, L.; MAILLY, D.; KIMMINS, J.P. “Without bamboo, the land dies”: biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talon-kebun system. **Forest Ecology and Management**, v.87, n.1, p.75-88, 1996.
- CID, L.P.B. A propagação *in vitro* de plantas. O que é isso? **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v.2, n.25, p.16-21, 2001.
- COLLA, W.A.; BERALDO, A.L.; BRITO, J.O. Efeito térmico nas características físicas e mecânicas do bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro). **Revista Cerne**, v.17, n.3, p.361-367, 2011.
- CORTES, L.F.B. **Reproducción de la Guadua angustifolia por el método de chusquines**. International Network for bamboo and rattan (INBAR), p. 16, 2013. Disponível em: <http://www.inbar.int/wp-content/uploads/downloads/2013/07/TOTEM_Propagation-of-Guadua-Angustifolia-using-the-Chusquines-method.pdf>. Acesso em 05 mai. 2015.

- DEPARTMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, **Preservation of Bamboo**. Government of India, Rsprintart, New Delhi, 2006.
- DER/SP DEPARTAMENTO DE ESTRADA E RODAGEM. Plantio e manutenção de mudas de essências florestais nativas. **Boletim técnico**, 2007.
- EMBAYE, K.; WEIH, M.; LEDIN, S.; CHRISTERSSON, L. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. **Forest Ecology and Management**, v.204, n.2/3, p.59-169, 2005.
- ESPELHO, J.C.C. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado**. Dissertação de mestrado. Campinas: Unicamp, 2007.
- FAO. **Reproducción de la Guadua angustifolia por el metodo de chusquines**. Disponível em: <<http://teca.fao.org/es/read/3887>>. Acesso em 27 ago. 2015.
- FERREIRA, E.J.L. **O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia**. **Cienc. Cult.** [online], v.66, n.3, p.46-51, 2014.
- FU, J. Chinese Moso bamboo: Its importance. **The Magazine of the American Bamboo Society**, n.5, v.22, p.5-7, 2001.
- GALVÃO, A.P.M. Tratamento preservativo do bambu pelo processo do banho frio. **An. Esc. Super. Agric.** Luiz de Queiroz, Piracicaba, v.24, p.9-33, 1967.
- GUADUA BAMBOO. **Bamboo Plantation Management**. 2007. Disponível em: <<http://www.guadubamboo.com/bamboo-plantation-management/>>. Acesso em 20 abr. 2015.
- GENEROSO, A.L. **Caracterização morfológica e cultivo *in vitro* de espécies de bambu**. Dissertação de mestrado. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2014.
- GUTIÉRREZ, J.A. **Structural adequacy of traditional bamboo housing in Latin America. Technical Report n. 19**. Pequim: International Network for Bamboo and Rattan, 2000.
- Hartman, H.T.; Kester, D.E.; Davies Junior, F.T.; Geneve, R.L. **Plant Propagation: Principles and Practices**. Pearson Education, 2011.
- JANSSEN, J.J.A. **Designing and building with bamboo. Technical Report, n.20**. Pequim: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2000.
- KIGOMO, B.N. Guidelines for growing bamboo. **Guidelines Series**, n.4, p.59, 2007.
- KLEINHENZ, V.; MIDMORE, D.J. Aspects of bamboo agronomy. **Advances in Agronomy**, v.74, p.99-149, 2001.
- LEI 12.484. **Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu – PNMCB**, 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/12484.htm>. Acesso em 25 ago. 2015.
- LEMOES, E.E.P.; FONSECA, F.K.P.; OLIVEIRA, J.F.; LEÃO, I.B.; REZENDE, L.P.; SOUZA C.D.; FILGUEIRAS, T.S.; FERREIRA, M. O. Inovações tecnológicas para a propagação de espécies de bambu. **Anais do I seminário nacional do bambu**, p.56-61, 2006.
- LIMA NETO, M.C.; BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L P.; SILVA, J.A.A. Exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.251-257, 2010.
- LONDOÑO, X. Distribuição, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues de lo Nuevo Mundo. **Anais do III Congreso Colombiano de Botânica**, Popayan, 2004. 25p.

- MATOS, JR. **Bambus como recurso florestal: suas aplicações, manejo, silvicultura, propagação, entomologia e a situação no DF.** Monografia. Brasília: Universidade de Brasília, 2004.
- MENDES, S.D.C., MOLICA, S.G., FERREIRA, R.L.C., CÉSPEDES, G.H.G. Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v.34, n.6, p.991-999, 2010.
- MERCEDES, J.R. **Cultivo del bambú.** Centro para el desarrollo agropecuario y florestal (CEDAF). Disponível em: <<http://www.cedaf.org.do/CENTRODOC/EBOOK/BAMBU.PDF>> Acesso em 27 ago. 2015.
- MOM. **Morar de outras maneiras** – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/09_ida/idabanco4/cadastro/p_cadastro/material/Corpo_centro_material_2.php?idMaterial=11>. Acesso em 08 mai. 2015.
- OLIVEIRA, C.R.F.; FARONI, L.R.; GUEDES, R.N.C.; PALLINI, A. GONÇALVES, J.R. Parasitismo de *Acarophenax lacunatus* (Cross & Krantz) (Prostigmata: Acarophenacidae) sobre *Dinoderus minutus* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae). **Neotrop. Entomol.** v.31, n.2, p.245-248. 2002.
- PEIXOTO, L.K. **Sistema construtivo em bambu laminado colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo Warren.** Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade Nacional de Brasília, 2008.
- PEREIRA, M.A.R.; BERHALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma.** Bauru, Editora Canal 6, 2007.
- PEREIRA, M.A.R.; GARBINO, L.V. Desenvolvimento e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na UNESP/campus de Bauru – SP, com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. **Anais do XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**, p. 4, 2003.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D. Flowering in bamboo: an enigma!. **Ceylon Journal of Science**, (Biological Sciences), v.35, n.2, p.95-105, 2006.
- SALGADO, A.L.; GREGO, C.R. A utilização do bambu como alternativa econômica para o semi-árido. **Anais do 10^a Agrinordeste**, p.7-8, 2002.
- SALGADO, A.L.; GODOY JUNIOR, G. O bambu no Brasil: em nossa vida, nossa cultura e seu cultivo e utilização. **Anais do Seminário Internacional Cursos e Mostra**. SEBRAE, p.39, 2002.
- SILVA, R.M.C.O. **Bambu no Brasil e no mundo.** Instituto EU, p.45, 2005. Disponível em: <http://www.institutoeu.com.br/arquivos/downloads/Bambu_no_Brasil_e_no_Mundo_56403.pdf>. Acesso em 03 mai. 2015.
- SOUZA, E.B. **Estudo da viabilidade técnica para o cultivo de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) em Planaltina-DF.** UPIS – Faculdades Integradas, Boletim Técnico, p.46, 2010.
- TORRES A.C.; CALDAS L.S.; BUZZO, J.A. (Eds.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas.** v.1 e 2. Brasília: Embrapa, 1998.
- UEDA, K. Studies on the physiology of bamboo. **Bulletin of the Kyoto University Forests**, v.30, p.1-69, 1960.
- WENDLING, I.; DUTRA, L.F.; GROSSI, F. **Produção de mudas lenhosas.** EMBRAPA Florestas, p.54, 2006.

Caracterização anatômica dos órgãos vegetativos de bambu (Poaceae, Bambusoideae)

Zanderluce Gomes Luis⁽¹⁾, Jênifer Silva Nogueira⁽²⁾, Dalva Graciano Ribeiro⁽³⁾ e Jonny Everson Scherwinski-Pereira⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA). Cidade Universitária, Campus III, Avenida dos Ipês s/n, Cidade Jardim, Marabá, PA, 68500-000, Brasil. E-mail: zanbio@hotmail.com

⁽²⁾ Departamento de Botânica, Universidade de Brasília (UnB), PPGBOT, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília, DF, 70910-900, Brasil. E-mail: jeniferbio@gmail.com

⁽³⁾ Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, campus Samambaia. Itatiaia, Goiânia, GO, 70910-900, Brasil. E-mail: dalvagraciano@gmail.com

⁽⁴⁾ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Av. W5 Norte (final), Brasília, DF, 70770-917, Brasil. E-mail: jonny.pereira@embrapa.br

Resumo – Os bambus constituem uma subfamília de Poaceae e podem ser reconhecidos por meio de suas características ecológicas, morfológicas, macromoleculares, fisiológicas, citológicas e anatômicas. Neste estudo, objetivou-se descrever, de forma geral, as características anatômicas que constituem as lâminas foliares, colmos, rizomas e raízes dos bambus. As lâminas foliares das ramificações apresentam caracteres peculiares que permitem diferenciá-las das outras subfamílias de Poaceae, como mesofilo não radiado, parênquima invaginante e célula fusóide, quase sempre presente. O colmo é constituído por epiderme, células parenquimáticas, fibras e feixes vasculares. A morfologia dos feixes vasculares, quanto à sua caracterização anatômica, permite a distinção entre gêneros e espécies, enquanto a densidade de fibras determina as propriedades de resistência e polpação para a utilização industrial do colmo. O rizoma possui organização anatômica semelhante à do colmo, com diferenças verificadas na menor espessura da região cortical e medular, na distribuição dos feixes vasculares e menor quantidade de fibras. A estrutura anatômica das raízes é típica das monocotiledôneas e pode apresentar córtex com cavidades aeríferas. As características anatômicas reunidas neste estudo podem ser utilizadas em uma ampla diversidade de aplicações, sejam econômicas ou taxonômicas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: GRAMÍNEAS, ANATOMIA VEGETAL, FOLHA, COLMO, RAIZ, RIZOMA.



Anatomical characterization of the vegetative organs of bamboo (Poaceae, Bambusoideae)

Abstract – Bamboos are plants that belong to the Poaceae subfamily and that can be recognized by their ecological, morphological, macromolecular, physiological, cytological and anatomical features. This work aimed to describe, in general terms, the anatomical features that commonly constitute the leaf blades, culms, rhizomes and roots of bamboos. The leaf blades have unique characteristics that allow the differentiation from other Poaceae subfamily, such as non-irradiated mesophyll, invaginating parenchyma and the very often present fusoid cells. The culm is formed by epidermis, parenchyma cells, fibers and vascular bundles. The anatomical morphology of the vascular bundles allows the distinction between genus and species, while the fiber density determines the properties of resistance and pulping for the industrial utilization of the culm. The rhizome presents an anatomical organization similar to the culm, showing differences in the smaller thickness of the cortical and medullary region, on the vascular bundles distribution and on the lower amount of fibers. The anatomical structure of the root is typical of a monocotyledon and can show air cavities on the cortex. The anatomical features gathered in this study can be applied in many ways, for economical or taxonomical purposes.

INDEX TERMS: GRASS, VEGETAL ANATOMY, LEAF, CULM, ROOT, RHIZOME.

Introdução

A família Poaceae compreende 12 subfamílias, dentre estas a subfamília Bambusoideae (Poaceae), constituída por bambus herbáceos (Olyreae) e lignificados (Bambuseae) (Ramanayake et al., 2007). As plantas apresentam parte aérea formada pelo colmo, ramificações e folhas e outra subterrânea, composta pelo rizoma e raízes. Os bambus possuem características como crescimento e ciclo de colheita rápida, facilidade de reprodução vegetativa, flexibilidade e durabilidade do colmo (Beraldo et al., 2003).

O conjunto dessas características permite a utilização dos bambus para os mais diversos fins. São amplamente utilizados na culinária como material de artesanato, na fabricação de móveis e na medicina alternativa. Podem ser aproveitados como recurso natural para a conservação e recuperação de áreas degradadas, sequestro de carbono e na prevenção da erosão. Atualmente, o uso do bambu na construção civil e por indústrias de papel e celulose tem aumentado consideravelmente (Ghavami & Marinho, 2005; Greco, 2015).

As características químicas, físicas e mecânicas do bambu são definidas pela sua constituição estrutural e as propriedades do colmo são determinadas, principalmente, pela estrutura anatômica. Dessa forma, o estudo anatômico pode se constituir como uma importante ferramenta para auxiliar na definição do potencial de uso e melhor forma de utilização das diferentes espécies, além de ser uma área determinante para estudos de taxonomia em bambus. Todavia, apesar das importantes contribuições deixadas por Brandis (1907), Metcalfe (1956), Das et al. (1958), McClure (1966), Calderón e Soderstrom (1973, 1980), Rao (1985), Liese (1998), Judziewicz et al. (1999) e Londoño et al. (2002), ainda são escassos e fragmentados os trabalhos descrevendo a anatomia dos órgãos vegetativos de bambu. A bibliografia existente tende a concentrar-se nos colmos, em virtude da maior importância econômica desse órgão.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva descrever, de forma geral, as características anatômicas que constituem as lâminas foliares, colmos, rizomas e raízes de bambus de forma a fomentar pesquisas na área e facilitar o entendimento sobre os padrões estruturais característicos da subfamília.

Resultados e discussão

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DOS ÓRGÃOS DE BAMBU

Folhas - Os bambus podem apresentar folhas com diferentes morfologias e funções, entre as quais podem ser citadas as folhas caulinares, catafilos do rizoma, além das folhas fotossintetizantes ou das ramificações. As folhas caulinares, também referenciadas como folhas do colmo ou bainhas do colmo, são aquelas encontradas nos nós dos colmos e que envolvem os entrenós e as gemas em crescimento, formando uma estrutura semelhante a uma capa com função de proteção. Uma vez finalizado o crescimento, a folha caulinar perde sua função e seca, podendo ficar ou não aderida à planta, a depender da espécie (Judziewicz et al., 1999; Liese, 1998).

Os catafilos do rizoma são folhas reduzidas que exercem função de proteção das gemas laterais presentes nos nós do rizoma (Judziewicz et al., 1999; Liese, 1998). Já as folhas das ramificações fazem parte da estrutura aérea da planta, sendo as principais responsáveis pelos processos de fotossíntese, respiração e transpiração do vegetal. Embora as folhas do colmo e brácteas do rizoma apresentem importantes funções estruturais, este artigo aborda somente a anatomia da lâmina foliar das folhas das ramificações.

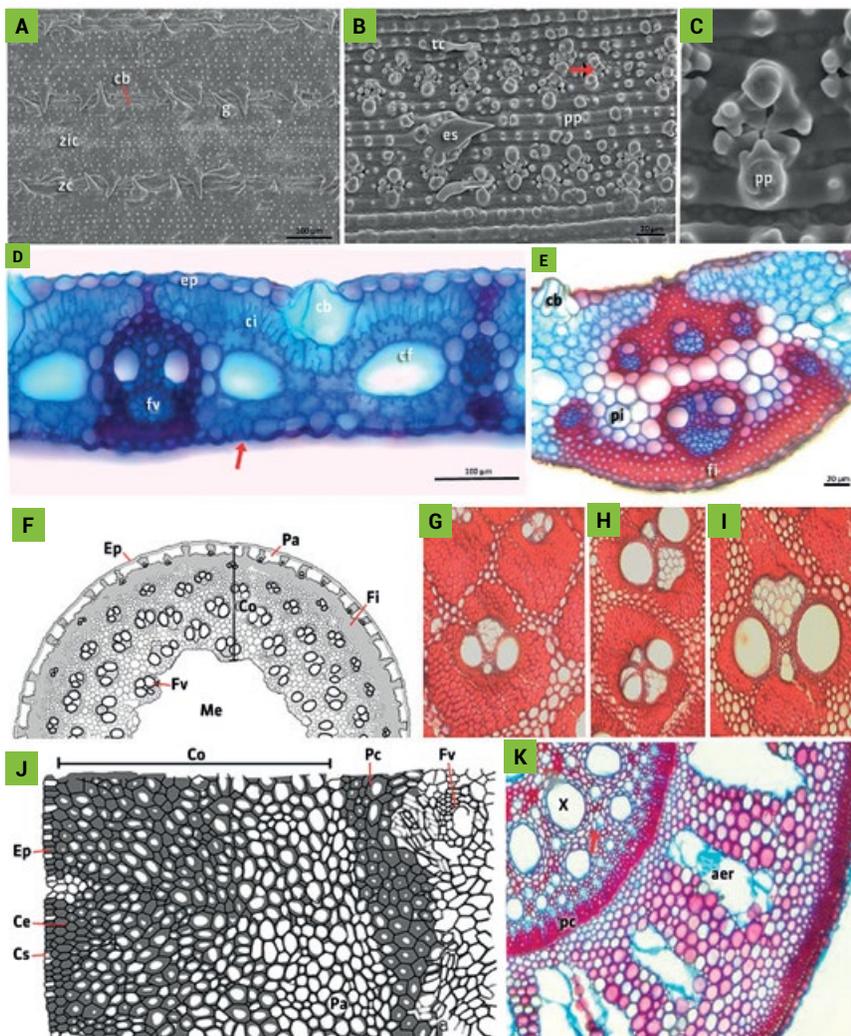
A folha das ramificações nos bambus possui morfologia achatada e axialmente alongada. O formato achatado das folhas permite distinguir duas faces: uma superior (adaxial) e outra inferior (abaxial), sendo cada face da lâmina foliar organizada em duas zonas denominadas de costal e intercostal (figura 1A). A zona costal é localizada acima das nervuras foliares, enquanto a intercostal é a zona localizada entre elas. A epiderme, porém, é contínua e única em toda a extensão da folha (Evert, 2013).

Nas lâminas foliares das ramificações, a epiderme caracteriza-se por apresentar células comuns longas e curtas (silicificadas e suberosas), papilas, micro e macrotricomas, tricomas, células buliformes, além de estômatos (Judziewicz et al., 1999) (figura 1A-E). As células epidérmicas nos seus diferentes tipos são arranjadas em fileiras paralelas, com a composição de cada fileira variável. As células classificadas como longas são as células epidérmicas comuns e as curtas são as suberosas e as silicificadas. As células suberosas apresentam paredes suberizadas e, em geral, armazenam material orgânico sólido, enquanto as células silicificadas são assim denominadas por apresentarem acúmulo de corpos de sílica.

Diversas funções são atribuídas à presença de sílica nas células, como o aumento da resistência a insetos, bactérias e fungos fitopatogênicos, além da sustentação foliar. O formato, tamanho e distribuição dos corpos silicosos são considerados importantes para fins taxonômicos, como ocorre na distinção dos gêneros *Bambusa* e *Guadua* (Londoño & Kobayashi, 1991).

As papilas são protruções da parede celular periclinal externa. Podem ser pequenas e simples ou grandes e ramificadas. Sua função é controversa e alguns autores acreditam que elas refletem a luz solar, enquanto para outros a sua função é apenas taxonômica. Em folhas de bambus, há tipicamente duas ou mais papilas por células (figura 1B-C). A ocorrência de papilas na lâmina foliar é observada na região intercostal, e a sua presença é considerada como uma característica típica dos bambus. Papilas pequenas e refrativas são particularidades da subtribo *Arthrostylidiinae* e de algumas espécies da subtribo *Guaduinae* (Judziewicz et al., 1999).

Os microtricomas e macrotricomas são apêndices epidérmicos que ocorrem em ambas as faces das folhas. Microtricomas ocorrem em todas as espécies de bambus e são formados por duas células com tamanho semelhante, sendo a apical geralmente com a extremidade arredondada e a basal com formato semelhante às outras células comuns da epiderme (figura 1B). Já os macrotricomas podem estar ou não presentes e, em geral, situam-se sobre as nervuras ou margens foliares; são visíveis a olho nu e consistem em uma única célula alongada com tamanho variável (Metcalf, 1960; Judziewicz et al., 1999).



FOTOS A-E-G-I-K: DALVA GRACIANO HIBBERO, F.E.J. SAMUEL SMITHLER

Figura 1. Características anatómicas dos órgãos vegetativos dos Bambus. (A-C) Secção paradérmica da face abaxial da folha de *Merostachys filgueirasii*; (A) Face epidérmica adaxial dividida em zona costal e intercostal com células buliformes, ganchos e papilas nas células longas; (B) Face adaxial, nota-se microtricomias, espinho, papilas nas células longas e nos estômatos; (C) Detalhe dos estômatos com papilas refrativas. (D) Secção transversal da lâmina foliar de *Guadua magna* mostrando células epidérmicas, estômatos (seta), células buliformes, células invaginantes, células fusoides e feixes vasculares. (E) Secção transversal da lâmina foliar das ramificações de *Guadua refracta* cf. evidenciando a nervura principal complexa, constituída de feixes vasculares, parênquima incolor e células buliformes

(F) Vista geral do colmo, em secção transversal, evidenciando a região cortical contendo feixes vasculares e região medular oca. (G-I) Detalhe dos feixes vasculares do colmo de *Merostachys filgueirasii*; (G) Região periférica, (H) Região mediana e (I) Região interna. (J) Secção transversal do rizoma exibindo epiderme com células simples e silicificadas, córtex com células parenquimáticas de paredes espessadas, periciclo plurisseriado e feixe vascular. (K) Vista geral da raiz de *Merostachys Filgueirasii*, em secção transversal, contendo córtex com aerênquima alongado, periciclo plurisseriado e xilema e floema primário (seta) distribuído por todo o estelo. (ab) face epidérmica abaxial. (ad) face epidérmica adaxial, (ca) cavidade aerífera, (cb) célula buliforme, (ce) célula esclerenquimática, (cf) célula fusóide, (ci) célula invaginante, (cf) célula fusóide, (co) região cortical, (cs) célula silicificada, (ep) epiderme, (es) espinho, (ex) exoderme, (fi) fibras, (f) floema, (fv) feixe vascular, (g) tricoma em forma de gancho, (Me) região medular, (mx) metaxilema, (pa) parênquima, (pp) papila, (pc) periciclo, (pi) parênquima incolor, (tc) microtricomias, (x) xilema, (zc) zona costal, (zic) zona intercostal

Os tricomas podem ser encontrados em dois formatos: gancho e espinho (figura 1A-B). O tricoma em forma de gancho possui tamanho menor, com base esférica e ápice recurvado. O espinho possui paredes espessas e ápice agudo e, normalmente, ocorre ao longo das nervuras, na região costal, conferindo textura áspera à folha (Metcalf, 1960; Judziewicz et al., 1999).

A célula epidérmica do tipo buliforme é volumosa, ocorre acompanhada de outras similares e dispostas em fileiras longitudinais (Evert, 2013) e, em secção transversal, pode ocupar até 70% do mesófilo (figura 1D-E). Essas células são encontradas somente na face adaxial das folhas dos bambus, permitindo distinguir facilmente a face adaxial da abaxial. A função das células buliformes está relacionada ao processo de enrolar das folhas em condições secas e desfavoráveis e reabrir em condições favoráveis (Judziewicz et al., 1999).

Os estômatos são as principais estruturas que controlam a entrada e saída de gases da folha. São formados por um par de células-guarda com um ostíolo entre elas. Em bambu, as células-guarda são do tipo halteriforme, isto é, são estreitas na região mediana e largas nas extremidades. Os estômatos ocorrem principalmente na face abaxial das folhas e são organizados em fileiras paralelas, intercalados com as células longas ou curtas, e sua diferenciação é basípeta – do ápice para a base da folha (Esau, 1976). Em algumas espécies, pode-se observar entre dois estômatos a presença de 1 a 3 células curtas denominadas células interestomáticas.

Internamente à epiderme, encontra-se o mesofilo que, em bambus, é constituído por tecido parenquimático clorofiliano (clorênquima) não diferenciado em paliádico e lacunoso (figura 1D-E). O tecido parenquimático das folhas é formado por células invaginantes, fusoides e raquimorfias (Wu, 1962) que estão arranjadas em paralelo, ao contrário de outras subfamílias de Poaceae que, geralmente, apresentam organização radial.

As células invaginantes são caracterizadas por exibir paredes finas com projeções ou invaginações pronunciadas e apresentam cloroplastos (figura 1D). Essas células ocorrem dispostas em linhas horizontais entre as células fusoides e as epidérmicas. Próximo à face adaxial da folha, as células invaginantes apresentam a projeção da parede orientada verticalmente, proporcionando aspecto semelhante ao parênquima paliádico, enquanto na face abaxial são arredondadas e as projeções da parede são menos pronunciadas (Metcalf, 1956; Zuluoga et al., 1993; Judziewicz et al., 1999).

As células fusoides são largas com paredes finas, desprovidas de cloroplastos e podem estar presentes ou não no mesofilo dos bambus (figura 1D) (Brown, 1958). O tamanho e forma das células fusoides variam entre as espécies. Já as células raquimorfias apresentam cloroplastos e são características das espécies de Poaceae. Além disso, apresentam saliências que se assemelham a braços e protuberâncias que permitem o contato com as células vizinhas (Freir, 1959). Estão presentes no gênero *Filgueirasia* (Silva-Filho, 2006).

As lâminas foliares dos bambus geralmente apresentam a nervura mediana mais desenvolvida do que nas demais subfamílias de Poaceae (Soderstrom & Ellis, 1987; Judziewicz et al, 1999) (figura 1E). O sistema vascular das lâminas foliares é considerado complexo e os feixes vasculares são normalmente encontrados em grupos, sendo os de maior calibre organizados paralelamente e interconectados por feixes vasculares transversais e de menor calibre (Esau, 1976; Rao, 1985). Feixes vasculares de primeira, segunda e terceira ordens apresentam-se envolvidos por duas bainhas, uma delas formada por célula parenquimática e a outra esclerenquimática (Metcalf, 1960). Os feixes vasculares podem apresentar extensões parenquimáticas ou esclerenquimáticas que se estendem até as faces adaxial e abaxial e conferem sustentação para a lâmina foliar (figura 1D-E) (Judziewicz et al., 1999).

Embora os bambus compartilhem uma anatomia foliar e micromorfologia epidérmica bastante semelhante, que os distinguem de outras gramíneas, variações anatômicas e micromorfológicas podem existir e serem informativas para a identificação e segregação das categorias taxonômicas (Metcalf, 1960; Judziewicz et al., 1999; Desai & Raole, 2013). No entanto, Das et al.

(2008) advertem que as características anatômicas da folha podem não ser uma opção apropriada para determinação em nível de gênero, mas podem ter potencial para níveis taxonômicos inferiores.

Caules - Os caules dos bambus são classificados morfológicamente de colmos por apresentarem nós e entrenós. Portanto, são os colmos que compõem a parte aérea da planta fornecendo sustentação para os ramos, folhas e estruturas reprodutivas, além de permitir o contato entre esses órgãos e as raízes (Londoño, 2002).

Os colmos se originam das gemas laterais ativas presentes nos nós dos rizomas. As gemas laterais são regiões meristemáticas que se desenvolvem formando o broto do bambu que, ao surgir na superfície, já completou seu espessamento final, ou seja, a base do broto já apresenta diâmetro definitivo, que será o mesmo durante toda a vida da planta. Já a região apical do broto se afunila conforme o crescimento, conferindo a forma cônica ao colmo. O colmo apresenta apenas crescimento primário, que é considerado rápido, podendo atingir altura máxima em apenas alguns meses. Algumas espécies crescem em torno de 20-50cm de altura, enquanto outras podem alcançar até 30 metros ou mais de altura (Lybeer et al., 2006; Greco et al., 2011).

Nos entrenós da maioria dos bambus existe a parede do colmo, que varia em espessura, circundando uma grande cavidade, a lacuna (figura 1F). Somente algumas espécies possuem os entrenós sólidos, entre as quais podem ser citadas *Dendrocalamus strictus*, *Chusquea* spp. e determinadas espécies dos gêneros *Merostachys* e *Guadua* (Liese, 1998; Judiewicz et al., 1999; Qisheng et al., 2001). A estrutura interna dos nós é conhecida como diafragma nodal e consiste em uma placa sólida, horizontal, com anastomose de tecidos vasculares que separa transversalmente os entrenós. Anastomose é a interconexão de feixes de células vasculares entre os entrenós. Essa composição confere suporte aos colmos, tornando-os capazes de resistir à ação do vento e permitindo suportar o próprio peso (Liese, 1998; Judiewicz et al., 1999; Greco et al., 2011).

Os caracteres morfológicos dos colmos têm sido tradicionalmente usados na identificação de bambus. No entanto, as características anatômicas também têm sido utilizadas com essa finalidade. Especialmente as relacionadas às diferenças encontradas na estrutura dos feixes vasculares dos colmos têm permitido a diferenciação entre gêneros e espécies (Grosser & Liese, 1971; Liese, 1998; Londoño, 2002). A estrutura anatômica dos entrenós, em seção transversal, é determinada pelo formato, tamanho, arranjo e quantidade de feixes vasculares colaterais e a distribuição dos demais tecidos é influenciada

pelo tipo de feixe vascular presente. Adicionalmente, a estrutura anatômica também é determinante para as propriedades físicas dos colmos do bambu, propriedades estas que podem ser utilizadas para definir a espécie a ser cultivada de acordo com a aplicabilidade final desejada.

De fora para dentro, os colmos são divididos nas seguintes regiões: epiderme, córtex, cilindro vascular e medula (figura 1F). No entanto, alguns autores dividem apenas em córtex, parênquima e feixes vasculares (Liese, 1998, Londoño, 2002), sendo que, nesse caso, o córtex abrange a epiderme e a hipoderme.

A epiderme é a camada mais externa do colmo, formada por células epidérmicas comuns com paredes espessadas, altamente lignificadas e alongadas axialmente. As células epidérmicas são cobertas externamente por uma camada de cutina e cera epicuticular, que atuam como um impermeabilizante dificultando a perda de água. Além das células epidérmicas comuns, a epiderme também é constituída por células silicificadas, células suberosas e estômatos. As células silicificadas ocorrem em quantidades elevadas e contribuem com o fortalecimento e sustentação da epiderme dos bambus e para a dureza do colmo. Quando jovem, pode-se encontrar também tricomas; geralmente, macrotricomas.

O córtex é formado pelos tecidos fundamentais e encontra-se logo após a epiderme. A hipoderme é a primeira camada do córtex, composta, geralmente, por células esclerenquimáticas com paredes espessadas ou por células parenquimáticas (Liese, 1985; 1998; Qisheng et al, 2001), variando de 1 a 3 camadas que, juntamente com a epiderme lignificada, impedem qualquer movimento de líquidos. A hipoderme é interrompida onde ocorrem estômatos, e nesses locais é substituída por células parenquimáticas. No entanto, a hipoderme nem sempre é distinta morfológicamente das outras células corticais.

Na maioria das espécies, o córtex é homogêneo e constituído por várias camadas de células parenquimáticas que apresentam formato alongado ou curto. O tamanho dessas células aumenta da periferia para a porção interna. As células alongadas ocorrem em maior quantidade e possuem paredes celulares espessadas que se tornam lignificadas durante o crescimento. Já as células curtas são mais escassas e apresentam citoplasma denso e paredes celulares delgadas que não se lignificam, mesmo em colmos maduros (Grosser & Liese, 1971; Liese, 1985, 1998). Ambos os tipos celulares apresentam numerosos canalículos em suas paredes, denominados de campos primários de pontoação nas células com parede primária, e de pontoações em células com parede secundária. Tais canalículos permitem a comunicação entre as células. A função desses dois tipos celulares permanece desconhecida, porém

acredita-se que as células alongadas auxiliam na sustentação do colmo em decorrência da lignificação das suas paredes.

As células parenquimáticas exercem importantes funções no colmo, como o armazenamento e mobilização de compostos energéticos para produção de brotações laterais, inflorescências e sementes (Liese, 1998). O amido é a principal substância energética armazenada nessas células e seus teores variam de acordo com idade, altura, fase fisiológica da planta e estação do ano. Tal acúmulo torna essas células altamente atrativas para insetos e fungos, o que se torna um problema, principalmente, na preservação de colmos após a colheita (Liese, 2004).

As células parenquimáticas também armazenam sílica em quantidades que variam de acordo com a espécie. A presença de sílica afeta o corte e a polpação do colmo. Portanto, para essas atividades são preferidos colmos com baixo teor desse composto (Liese, 2003).

O sistema vascular do colmo dos bambus está organizado em feixes colaterais constituídos por dois ou três grandes vasos de metaxilema, um ou dois elementos de protoxilema, floema e fibras (figura 1G-I). Os vasos do metaxilema são maiores que os de protoxilema e apresentam-se separados por espaços intercelulares e rodeados por células com paredes celulósicas ou lignificadas (Grosser & Liese, 1971; Liese, 1998). O floema é formado por elementos de tubo crivado e células companheiras e está localizado externamente ao xilema, ou seja, voltado para a epiderme (Grosser & Liese, 1971).

Os feixes vasculares apresentam variações em sua composição celular, organização dos tecidos, formato, tamanho, número e distribuição, assim como o tipo de bainha que os circundam (parenquimática ou esclerenquimática) ao longo do colmo, tanto horizontalmente quanto verticalmente. Essas variações são importantes e levadas em consideração na classificação e identificação das espécies, além de contribuírem para a sua flexibilidade (Liese, 1998). Quatro tipos básicos de feixes vasculares (I, II, III e IV) foram descritos por Grosser e Liese (1971) baseando-se na estrutura em relação à bainha esclerenquimática. Liese (1985) acrescentou mais um tipo (V) e Sekar e Balasubramanian (1994) o subtipo IIa. Posteriormente, Liese e Grosser (2000) acrescentaram mais dois novos subtipos. A disposição dos feixes vasculares também influencia o aspecto visual de produtos confeccionados a partir do bambu, como móveis e assoalhos.

As fibras consistem em tecido esclerenquimático e são caracterizadas pela sua forma longa, afilada em ambas as extremidades, e são, por vezes, bifurcadas. Suas paredes são espessadas, compostas de lignina e inúmeras camadas

com orientação variada de microfibrilas que contribuem para o suporte e, ao mesmo tempo, flexibilidade dos colmos (Liese, 2003). As fibras estão associadas aos feixes vasculares como bainha ou como fibras isoladas e equivalem a 40-50% da massa do colmo e 60-70% do seu peso (Tomazello-Filho & Azzini, 1987; Liese, 1985, 1998).

A quantidade de feixes vasculares e fibras varia ao longo do comprimento e largura do colmo. A parte apical e a região externa do córtex do colmo possuem maior densidade de feixes vasculares e fibras (figura 1G). Já a região mediana do córtex apresenta menor quantidade de feixes vasculares e fibras e essa redução é ainda maior na base e região interna do córtex do colmo (figura 1H-I). O aumento da densidade de fibras ao longo do colmo confere maior resistência mecânica ao ápice em comparação com a parte basal (Liese, 1980; Greco et al., 2011). Dessa forma, a prática comum de descartar a parte apical do colmo durante as coletas pode ser considerada como desperdício de matéria-prima com importante valor agregado, visto o alto conteúdo de fibras existente nessa região (Liese, 1998; Greco et al., 2011).

Além da quantidade de fibras, variações no comprimento dessas células também ocorrem ao longo do colmo, com fibras mais longas nas regiões medianas e fibras mais curtas na base do colmo e em regiões próximas aos nós (Tomazello-Filho & Azzini, 1987; Liese, 1998). O comprimento das fibras também varia consideravelmente entre as espécies. Fibras mais curtas, por exemplo, são encontradas em espécies como *Phyllostachys edulis* (1,5 mm) e *Phyllostachys pubescens* (1,3 mm), enquanto fibras mais longas ocorrem em *Dendrocalamus giganteus* (3,2 mm) e *Oxytenanthera nigrociliata* (3,6 mm). Espécies com fibras longas são as mais indicadas para produção de papel e celulose, já que essa atividade está diretamente relacionada ao tamanho da fibra (Greco et al., 2011).

Na região dos nós, as fibras são curtas com paredes espessas, aforquilhadas e distorcidas, o que garante uma densidade específica mais elevada aos nós, influenciando nas propriedades físicas e de resistência mecânica do colmo (Liese, 2003; Greco et al., 2011).

Todas essas características descritas anteriormente confirmam que os bambus são um dos mais importantes produtos florestais não madeireiros e uma das plantas mais importantes do mundo (Lybeer et al., 2006). Nos últimos anos, as investigações e o aprimoramento do conhecimento sobre as características anatômicas aplicadas às propriedades estruturais dos bambus tiveram impacto econômico e deram origem a indústrias e produtos, como a de utilizar o bambu para produção de papel e celulose.

Rizoma - Os rizomas, juntamente com as raízes, constituem o sistema subterrâneo dos bambus. O rizoma é um órgão segmentado em nós e entrenós e apresenta maior desenvolvimento nos bambus lignificados que nos herbáceos. Esse órgão é responsável pela produção de novos colmos e raízes, armazenamento e transporte de nutrientes e suporte da parte aérea (Judziewicz et al., 1999).

O rizoma pode ser organizado em duas porções: o rizoma neck e o rizoma propriamente dito. A porção do rizoma denominada “neck” é a primeira a se formar e pode conter vários segmentos (nós e entrenós) que são destituídos de gemas e raízes. O rizoma propriamente dito é formado a partir do rizoma neck, no entanto apresenta numerosos segmentos contendo raízes e gemas que se desenvolvem e formam os colmos (McClure, 1966).

Diferentes padrões de desenvolvimento permitem classificar os rizomas quanto a sua morfologia. McClure (1996) classificou os rizomas em paquimorfo e leptomorfo, embora alguns subtipos também existam. O rizoma paquimorfo é caracterizado por apresentar os entrenós curtos e espessura maior que o colmo. O rizoma leptomorfo é uniformemente fino com entrenó longo.

De modo geral, a estrutura anatômica do rizoma é semelhante à do colmo, com diferenças verificadas no diâmetro do córtex e medula, distribuição dos feixes vasculares e quantidade de feixes e de fibras (Liese, 1998; Lybeer, 2006) (figura 1J). Em média o rizoma possui 62% de células parenquimáticas, 20% de fibras e 18% de tecidos condutores.

A epiderme do rizoma apresenta os mesmos tipos celulares do colmo, células epidérmicas comuns, silicificadas em abundância, estômatos e tricomas (figura 1J) (Liese, 1998; Segecin & Scatena, 2004; Silva-Filho, 2006). Internamente à epiderme, inicia-se a região cortical, que pode ser constituída de hipoderme, células parenquimáticas e esclerificadas, canais aeríferos e endoderme (figura 1J). A composição celular do córtex se modifica de acordo com a espécie (Liese, 1998) e o número de camadas celulares pode variar de duas a mais de 30.

A hipoderme, quando presente, é esclerenquimática e consiste em uma ou mais camadas celulares localizadas subjacentes à epiderme (Liese, 1998; Silva-Filho, 2006). Células esclerenquimáticas ocorrem em camadas e intercaladas por células parenquimáticas que apresentam paredes delgadas ou espessadas. A presença de canais aeríferos no córtex geralmente ocorre em espécies que crescem em elevadas altitudes (Ding et al., 1996), como observado em *Arundinaria tecta*, que contém canais bem desenvolvidos. Contudo, *Filgueirasia arenicola* não apresenta canais aeríferos (Silva-Filho, 2006). Esses canais são

semelhantes àqueles que ocorrem em caules de gramíneas que se desenvolvem em ambientes alagados do gênero *Oryza*, *Otachyrium*, entre outros.

A endoderme é a camada mais interna do córtex, geralmente constituída por uma camada celular com paredes espessas. O periciclo é formado por uma ou mais camadas de células com paredes delgadas ou espessadas que delimitam os tecidos vasculares externamente (figura 1J). A endoderme e o periciclo são típicos de algumas espécies, principalmente aquelas que crescem em altitude elevada (Ding et al., 1996).

Os tecidos vasculares são organizados em feixes colaterais e, geralmente, ocorrem próximos da endoderme, mas podem ser observados na região do córtex em algumas espécies (Ding et al., 1996; Liese, 1998). A composição dos feixes vasculares do rizoma é semelhante à do colmo, com xilema, floema e bainha de feixe esclerenquimática (Ito et al., 2015). A forma e densidade de feixes variam de espécie para espécie e a distribuição está relacionada com a espessura do rizoma (Liese, 1998). A parte interna tem menor número, enquanto a parte central e a externa possuem quantidade maior, diferindo do colmo onde a incidência principal de feixes ocorre na parte externa.

De maneira geral, o xilema, tecido condutor de água e solutos a longa distância, apresenta um ou dois elementos de protoxilema (primeiras células do xilema primário a se diferenciar) e dois metaxilemas (xilema primário que se diferencia depois do protoxilema) característicos. Variações podem ocorrer na quantidade de metaxilema nos feixes vasculares, como observado em *Phyllostachys pubescens* com um a dois pares de metaxilema (Ito et al., 2015) e *Filgueirasia arenicola*, que apresenta de um a doze elementos (Silva-Filho, 2006). O floema apresenta elementos de metafloema que se caracterizam por numerosos elementos de tubo crivado e células companheiras. A disposição do floema nos feixes vasculares do rizoma não é sempre voltada para a epiderme, pois pode ocorrer inversão dos tecidos condutores, principalmente, nos feixes próximos à medula (Liese, 1998; Ito et al., 2015).

As fibras são observadas circundando todo o feixe vascular ou somente o floema ou o xilema. O rizoma exhibe fibras em menor quantidade e estas apresentam parede celular menos espessa se comparada às fibras do caule, como verificado em *Phyllostachys pubescens* (Ito et al., 2015). As diferenças na quantidade de tecidos do caule e rizoma estão relacionadas com as diferentes funções exercidas por cada órgão. O rizoma apresenta menos fibras e maiores quantidades de tecido parenquimático por ser um órgão relacionado especialmente com o armazenamento de nutrientes, enquanto o caule contém maior número de fibras para conferir suporte mecânico (Liese, 1998).

A estrutura dos elementos vasculares é anatomicamente distinta nos ri-

zomas paquimorfo e leptomorfo ou do colmo de qualquer bambu. O rizoma paquimorfo é considerado mais primitivo que o leptomorfo por apresentar um ou raro dois elementos de metaxilema e ausência ou pouco desenvolvimento do protoxilema. As bainhas de fibras envolvendo os feixes estão ausentes ou ocorrem apenas ao lado do floema (geralmente escassas ou pouco desenvolvidas), e não há fibras no córtex (Liese, 1998).

Já a região central do rizoma é denominada medular e apresenta-se como fistulosa (oca) ou preenchida por células parenquimáticas, que podem armazenar grãos de amido (Ito et al., 2015).

Embora seja difícil resolver problemas sistemáticos com base na estrutura anatômica do rizoma, as características descritas podem ser úteis para a distinção de espécies dentro de um gênero (Liese, 1998).

Raízes - As raízes dos bambus diferem dos colmos e rizomas em sua estrutura, pois não são segmentadas em nós e entrenós. Em bambus, a maior parte do sistema radicular é formado por raízes adventícias, que se desenvolvem a partir dos nós encontrados nos rizomas e nas bases dos colmos. O sistema radicular forma uma rede delicada e extensa, essencial para o crescimento e desenvolvimento de cada planta (Liese, 1998; Judziewicz et al., 1999).

As raízes possuem a função de ancorar a planta no solo, além de absorver água e nutrientes que são transportados por toda a planta. Esse órgão também pode armazenar amido, embora nos bambus o armazenamento ocorra principalmente nos rizomas (Judziewicz et al., 1999).

A estrutura anatômica das raízes de bambus apresenta uma sequência característica, iniciando externamente com a epiderme, córtex, cilindro vascular e a medula (figura 1K).

A epiderme é a camada de células mais externa, constituída por células alongadas ou quase isodiamétricas, em seção transversal. As células epidérmicas são altamente variáveis na forma, tamanho e espessura da parede entre as espécies de bambu (Raechal & Curtis, 1990). Pelos radiculares podem ser visualizados na epiderme e são definidos como excrescências epidérmicas, comumente formadas em raízes jovens. Nestas raízes, ocorrem muitos pelos radiculares, que são simples e uninucleados na sua maioria, variando o tamanho e formato. Já nas raízes mais velhas, os pelos são ligeiramente mais espessos e muitos têm pequenas torções e contornos curvos (Rao, 1985).

O córtex consiste em quatro camadas: a camada externa ou exoderme, cilindro cortical lignificado ou não, parênquima e endoderme, como o relatado em *Filqueirasia arenicola* (Silva-Filho, 2006) e em *Chusquea tenella* e *Chusquea ramosíssima* (Montti et al., 2008).

A exoderme é unisseriada, ou seja, é formada por uma camada de células que apresenta variações entre as espécies no tamanho, forma e espessamento das paredes. Internamente à exoderme, ocorrem agrupamentos de células esclerenquimáticas ou parenquimáticas formando um anel cujas células são menores que as demais e que não delimitam espaços intercelulares (figura 1K).

O córtex é formado, em maior parte, por camadas de células parenquimáticas, geralmente isodiamétricas com paredes comumente delgadas, delimitando espaços intercelulares triangulares e dispostas radialmente. Nessa região podem ser observados aerênquima (parênquima que armazena ar entre as suas células) ou cavidades aeríferas de acordo com a espécie (Rao, 1985; Raechal & Curtis, 1990) e essas variam em tamanho e formato (figura 1K).

A endoderme é a camada mais interna do córtex, possui arranjo compacto, com espessamento incompleto da parede (forma de “U”) ou espessamento total (forma de “O”). A espessura da parede celular pode variar de delgada para amplamente espessa, dependendo da espécie (Raechal & Curtis, 1990; Silva-Filho, 2006). Nas raízes de bambu, pode ocorrer deposição de sílica nas paredes celulares da endoderme (Lybeer, 2006). A presença de sílica na raiz pode impedir doenças fúngicas e bacterianas, minimizar o efeito de estresses abióticos, como a toxicidade a metais pesados, estresse à seca e à alta temperatura e congelamento (Ito et al., 2014).

O cilindro vascular apresenta tecidos vasculares e não vasculares. O periciclo está localizado internamente à endoderme, e suas células são parenquimáticas ou esclerenquimáticas, diferindo quanto ao número de camadas, formato e espessamento das paredes. Pode apresentar uma ou várias camadas fortemente lignificadas ou não e, geralmente, é interrompido pelas células do floema, como em *Merostachys filguerasii* (figura 1K).

O tecido vascular pode preencher toda a região interna da raiz formando um cilindro maciço ou ocupar apenas a periferia como um cilindro vascular oco (figura 1K). O xilema é formado por células do metaxilema que possuem tamanho uniforme e são maiores em diâmetro que os vasos de protoxilema. Os vasos de xilema e floema podem formar um cilindro vascular concêntrico ou podem estar dispersos por todo o estelo (*Merostachys filguerasii*) ou somente o floema se dispor de forma aleatória (Raechal & Curtis, 1990; Silva-Filho, 2006).

A medula é a região central da raiz, pode ser oca ou preenchida por células parenquimáticas, com paredes celulares finas ou espessadas, ou ainda células esclerenquimáticas. Em algumas espécies, podem ser delimitadas duas regiões ou serem totalmente uniformes em tamanho e espessura (Raechal & Curtis, 1990).



As raízes de bambu apresentam ampla variação na estrutura anatômica, que pode desempenhar papel importante na caracterização de táxons abaixo de tribo. Além disso, o sistema subterrâneo dos bambus é adaptável a uma variedade de condições e em muitos aspectos eles são mais eficientes do que as demais Poaceae (Rao, 1985).

Referências

- BARKWORTH (eds.). **Grass systematics and evolution**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1987.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, R.; PEREIRA, A. R. Bambu: características e aplicações. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. (eds.): **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: UNICAMP, 2003.
- BRANDIS, D. Remarks on the structure of bamboo leaves. **Transactions of the Linnean Society London Botany**, v.7, p.69-89, 1907.
- BROWN, W. V. Leaf anatomy in grass systematic. **Bot. Gaz.**, v.119, n.3, p.170-178, 1958.
- CALDERÓN, C. E.; SODERSTROM, T. R. Morphological and anatomical considerations of the grass subfamily Bambusoideae based on the new genus *Maclurolyra*. **Smithsonian Contributions to Botany**, v.11, p.1-55, 1973.
- CALDERÓN, C. E.; SODERSTROM, T. R. The genera of Bambusoideae (Poaceae) of the American continent: keys and comments. **Smithsonian Contributions to Botany**, v.44, p.1-27, 1980.
- DAS M.; BHATTACHARYA, S.; SINGH, P.; FILGUEIRAS, T. S.; PAL, A. Bamboo taxonomy and diversity in the era of molecular markers. **Advances in Botanical Research, Incorporating Advances in Plant Pathology**, v. 47, p.226-239, 2008.
- DESAI, R. J.; RAOLE, V. M. Leaf micromorphological studies in subfamily Bambusoideae and pooidae from Gujarat, India. **Kathmandu University Journal Of Science, Engineering and Technology**, v.9, n.1, p.37-47, 2013.
- DING, Y. L.; TANG, G. G.; CHAO, C. S. Anatomical studies on the rhizome of some pachymorph bamboos. In: RAO R.; I. V.; WIDJAJA, E. (eds.), **Bamboo, people and the environment, v. 1, Propagation and management. Proceedings of the Vth International Bamboo Workshop, Ubud, Bali, Indonésia**. Nova Déli, 1996.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Tradução: Berta Lange de Morretes. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.
- EVERT, R. F. **Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento**. São Paulo: Blucher, 2013.
- FREIR, F. Las células clorenquimáticas del mesófilo de las gramíneas. **Revista Argentina de Agronomía**. v.26, n.1-2, pp.1-16, 1959.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.107-114, 2005.



- GRECO, T. M.; PINTO, M. M.; TOMBOLATO, A. F. C. **Diversity of bamboo in Brazil. Journal of Tropical and Subtropical Botany**, v.23, n.1, p.1-16, 2011.
- GROSSER, D.; LIESE, W. On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. **Wood Science and Technology**, v. 5, p.290-312, 1971.
- ITO, R.; MIYAFUJI, H.; KASUYA, N. Characterization of the rhizome of moso bamboo. **J. Soc. Mater. Sci.**, v.63, p.865-870, 2014.
- ITO, R.; MIYAFUJI, H.; KASUYA, N. Rhizome and root anatomy of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) observed with scanning electron microscopy. **Journal Wood Science**, v.61, n.4, 2015.
- JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK, L. G.; LONDOÑO, X.; STERN, M. J. **American Bamboos**. Washington e Londres: Smithsonian Institution Press, 1999.
- LIESE, W. Anatomy of bamboo. In: **Bamboo research in Asia**. Ottawa, IDCR/IUFRO, 1980. p.161-164.
- LIESE, W. Anatomy and properties of bamboo. **International Bamboo Workshop**. China, p.196-208, 1985.
- LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. **Technical Report**, 1998.
- LIESE, W.; GROSSER, D. An expanded typology for the vascular bundles of bamboo culms. **Proc. Bamboo Inter. Symposium Chiangmai 2-4 August**, p.121-134, 2000.
- LIESE, W. Structures of a bamboo culm affecting its utilization. **Proceedings of International Workshop on Bamboo Industrial Utilization**, p.1-8, 2003.
- LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. In: Simposio Internacional *Guadua*, 2004. Pereira. Anais... Pereira, 2004. CD-Rom.
- LONDOÑO, X.; KOBAYASHI, M. Comparative study of the silica bodies of *Bambusa* and *Guadua*. **Caldasia**, v.16, p.407-441, 1991.
- LONDOÑO, X. **Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo**. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2002. Disponível em: <<http://www.hof-landlust.de/scb/taller.html>>. Acesso em 25 mar. 2015.
- LYBEER, B.; VANACKER, J.; GOETGHEBEUR, P. Variability in fibre and parenchyma cell walls of temperate and tropical bamboo culms of different ages. **Wood Sci Technol**, v.40, p.477-492. 2006. DOI 10.1007/s00226-006-0078-5.
- LYBEER, B. Age-related anatomical aspects of some temperate and tropical bamboo culms (Poaceae: Bambusoideae). Tese de doutorado. Gent: Universiteit Gent – Faculteit Wetenschappen. 2006.
- MCCLURE, F. A. **The bamboos**. Boston: Harvard University, 1966.
- METCALFE, C. R. Some thoughts on the structure of bamboo leaves. **Bot. Mag**, v.69, p.391-400, 1956.
- METCALFE, C. R. **Anatomy of the Monocotyledons I. Gramineae**. Oxford: Clarendon Press, 1960.
- MONTTI, L.; GRACIANO RIVEIRO, D.; GOLDSTEIN, G. Anatomical traits of woody bamboos useful for taxonomic identification: a case of study in Neotropical species. **J. Bamboo and Rattan** 7, n.1-2, p.1-20, 2008.
- QISHENG, Z.; SHENXUE, J.; YONGYU, T. Industrial utilization on bamboo. **INBAR: Technical Report**, n.26, 2001.

- RAECHAL, L. J.; CURTIS, J. D. Root anatomy of the Bambusoideae (Poaceae). **American Journal**, vol.77, n.4, p.475-482, 1990.
- RAMANAYAKE, S. M. S. D.; MBEMADUMA, V. N.; WEERAWARDENE, T. E. Genetic diversity and relationships between nine species of bamboo in Sri Lanka, using random amplified polymorphic DNA. **Plant Systematics and Evolution**, v.269, n.1, p.55-61, 2007.
- RAO, A. N. Anatomical studies on certain bamboos growing in Singapore. **The Journal of the American Bamboo Society**. International Bamboo Workshop, p.209-226, 1985.
- SEGECIN, S.; SCATENA, V. L. Morfoanatomia de rizomas e raízes de *Tillandsia* L. (Bromeliaceae) dos campos Gerais, PR, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, v.18, n.2, p.253-260, 2004.
- SEKAR, T.; BALASUBRAMANIAN, A. Culm anatomy of *Guadua* and its systematic position. **BIC-India Bulletin**, v. 4, n.1-2, p.6-9, 1994.
- SILVA-FILHO, J. P. B. Caracterização anatômica de *Filgueirasia arenicola* (McClure) Guala (Poaceae: Bambusoideae: *Arthrostylidiinae*). 2006. Dissertação de Mestrado. Brasília: UnB, 2006.
- SODERSTROM, T. R.; ELLIS, R. P. The position of bamboo genera and allies in a system of grasses classification. In: SODERSTROM, T. R.; HILU, K. W.; CAMPBELL, C. S.; Barkworth, M. E (eds.). **Grass systematics and evolution**. Washington, DC London: Smithsonian Institution Press, p.225-238, 1987.
- TOMAZELLO-FILHO, M.; AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. **IPEF**, n.36, p.43-50, 1987.
- WU, M.C.Y. The classification of bambuseae based on leaf anatomy. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, n.3, p.83-108, 1962.
- ZULOAGA, F.O.; JUDZIEWICZ, E.J.L. *Agnesia*, a new genus of Amazonian herbaceous bamboos (Poaceae: Bambusoideae: Olyreae). **Novon**, v. 3, p.306-309, 1993.



Estimativa de volume aparente do colmo de três espécies de bambus exóticos

Carlos Roberto Sanquetta⁽¹⁾, Marieli Sabrina Ruza⁽²⁾, Ana Paula Dalla Corte⁽¹⁾, Francelo Mognon⁽³⁾ e Alexandre Behling⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP 80.210-170. E-mails: sanquetta@ufpr.br, anapaulacorte@gmail.com

⁽²⁾ Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP 80.210-170. E-mail marielisabrina93@gmail.com

⁽³⁾ Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP 80.210-170. E-mails: mognonf@gmail.com, alexandre.behling@yahoo.com.br

Resumo – Embora o bambu seja uma matéria-prima cada vez mais utilizada no Brasil, a literatura científica nacional carece de estudos sobre a estimativa do volume aparente dos colmos da planta – dado útil para planejar, por exemplo, o transporte e o processamento do material. Neste trabalho, foram testados cinco modelos matemáticos para a estimativa do volume aparente do colmo de três espécies exóticas de bambu com potencial para a indústria. Foram coletados 30 colmos das espécies *Bambusa vulgaris*, *B. oldhamii* e *Phyllostachys aurea*, ao longo do ano de 2014, nos municípios de Pinhais e Curitiba, no Paraná. Os modelos escolhidos foram avaliados estatisticamente e, como resultado, os ajustes foram considerados satisfatórios para *B. vulgaris* e *B. oldhamii*, mas inferiores para *P. aurea*. Conclui-se que é possível estimar acuradamente os volumes de *Bambusa* a partir de medidas do diâmetro à altura do peito e da altura dos colmos, e que é necessário ampliar a amostra e estratificar os dados de *P. aurea*, bem como testar novos modelos para se ter estimativas confiáveis para essa espécie em particular.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: AJUSTE, CUBAGEM, EQUAÇÕES MATEMÁTICAS, FATOR DE FORMA, RESÍDUOS

Culm volume estimation of three exotic bamboo species

Abstract – *Although bamboo is a raw material increasingly used in Brazil, the national scientific literature lacks studies on the estimation of the apparent volume of the plant culms – e.g. useful data for planning transportation and processing of the material. In this study, five mathematical models were tested in order to estimate the apparent culm volume of three exotic bamboo species with potential for the industry. We collected 30 culms of Bambusa vulgaris, B. oldhamii and Phyllostachys aurea along 2014, in the municipalities of Curitiba and Pinhais, in Paraná. The selected models were evaluated statistically. In the results, fittings were judged to be satisfactory for B. oldhamii and B. vulgaris, but lower for P. aurea. It is concluded that it is possible to estimate accurately the volume of Bambusa from tree diameter at breast height and the height of the culms, and that it is necessary to expand the sample and stratify the data of P. aurea, as well as to test other new models in order to get reliable estimates for this species in particular.*

INDEX TERMS: FITTING, VOLUME SCALING, MATHEMATICAL EQUATIONS, FORM FACTOR, RESIDUALS

Introdução

Em muitas regiões do país, a madeira tem se tornado escassa, sendo o bambu um ótimo substituto por ter crescimento rápido, baixo custo e grande produtividade por área de plantio, bem como diversos usos potenciais. Um exemplo, já colocado em prática em muitos países, é a utilização do bambu como material de construção, principalmente por ser extremamente resistente e facilmente manejado.

O Brasil possui grande diversidade de bambus, tendo cerca de 18 gêneros, dos quais seis são endêmicos, isto é, só ocorrem aqui, e 160 espécies, sendo 129 endêmicas (Judziewicz et al., 1999). As plantas geralmente apresentam-se divididas em rizomas e sistemas de colmo (Nogueira, 2013), em que o rizoma possui a função de sustentação, absorção de água e nutrientes, enquanto o colmo é a parte aérea da planta, normalmente com formato cilíndrico, oco, possuindo nós e entrenós.

O colmo é a parte da planta de maior interesse comercial e industrial. Atualmente seu principal uso em larga escala é a extração de celulose e polpa para fins de produção de papel (Calegari et al., 2007). Apesar das aplicações promissoras, existem, no Brasil, poucos trabalhos científicos relativos à produtividade dos bambus (Vasconcellos, 2007), particularmente sobre volumetria das distintas espécies empregadas comercialmente.

Diferentemente das espécies vegetais arbóreas, os bambus têm o interior de seus colmos oco, o que torna seu volume aparente diferente de seu volume real ou sólido. Essa particularidade dificulta a obtenção de estimativas confiáveis e integradas de volume, fundamentais para um melhor aproveitamento da matéria-prima. A depender de como se deseja manejar, comercializar ou industrializar o bambu, uma ou outra informação volumétrica poderá ser requerida. Por exemplo, quando a informação for subsidiar o transporte do bambu para a fábrica, será necessário o conhecimento do volume aparente – informação a ser considerada para o empilhamento do material no caminhão. Já para o processamento da matéria-prima, o volume necessário será o sólido, uma vez que o interesse estará na biomassa efetivamente aproveitável.

O desenvolvimento de equações de volume para bambus é um tema superficialmente explorado na literatura. Pesquisadores japoneses (Aoki, 1955; Kondo et al., 2004; Suga et al., 2011) vêm se dedicando ao tema, mas, no Brasil, essa temática quase não aparece nas discussões sobre a produtividade de bambus. Carecemos, portanto, de modelos básicos para estimar volume de colmo aparente, ou seja, o volume de colmo total, incluindo a parte oca, e o volume lenhoso, isto é, o volume das paredes lenhosas dos colmos (Inoue et al., 2011).

Segundo Silva (2005), as espécies exógenas mais comuns no Brasil são *Bambusa vulgaris* Schrad, *B. vulgaris* var. *Vittata*, *B. tuldooides*, *Dendrocalamus giganteus* e algumas espécies de *Phyllostachys*. Tais espécies, todas de origem asiática, foram trazidas ao país inicialmente pelos primeiros colonizadores portugueses e, mais tarde, pelos imigrantes orientais, difundindo-se facilmente. Porém, apesar de serem abundantemente cultivadas no Brasil, não existem equações volumétricas para estimativa de sua produtividade em campo e na indústria.

Este estudo teve como objetivo testar modelos matemáticos para estimar o volume aparente do colmo de três espécies de bambus exóticos cultivados no Brasil, utilizando colmos de bambu-comum (*Bambusa vulgaris* Munro) e oldami (*B. oldhamii* Schrad. ex J.C. Wendl) advindos de um experimento e de bambu-dourado (*Phyllostachys aurea* Carr. ex A. & C. Rivi'ere) cultivado em povoamento sob regeneração natural.

Material e métodos

Foram utilizados 90 colmos, sendo 30 de cada espécie. O material de *Bambusa* foi coletado na Fazenda Experimental do Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e situada no município de Pinhais, no estado do Paraná. As coordenadas geográficas centrais do local são: 25°23'30"S e 49°07'30"W e 688200/7190200, de acordo com o sistema de projeção UTM (datum SAD-69, UTM Fuso 22S). A altitude varia de 889 a 950 metros acima do nível do mar e a inclinação, de 3 a 20%. Mais detalhes do experimento e das condições biofísicas do local são apresentados em Mognon (2015) e no artigo "Em busca de características promissoras: avaliação experimental de seis espécies de bambu em Pinhais (PR)", também publicado neste livro.

Já os dados de *Phyllostachys aurea* foram coletados no campus Jardim Botânico da UFPR, localizado em Curitiba, também no estado do Paraná. Ali, o clima, segundo a classificação Köppen, é o temperado úmido mesotérmico (Cfb), com invernos rigorosos e verões amenos, com chuva presente em todas as estações do ano (Ribeiro et al., 2008). A área encontra-se nas coordenadas de referência 25°25'40"S (latitude) e 49°16'23"W (longitude), e a altitude média é de 934 metros.

Os 90 colmos utilizados no estudo foram eleitos de maneira aleatória nos povoamentos, seguindo a distribuição diamétrica dos mesmos. Foram estabelecidas 10 classes diamétricas, variando de 0 a 3 centímetros para *P. aurea* e de 0 a 10 centímetros para *B. oldhamii* e *B. vulgaris*. Os colmos foram derrubados e mensurados nas variáveis de diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (ht), com paquímetro e trena, respectivamente. Em seguida, realizou-se a divisão dos colmos em 10 seções, cada uma correspondendo a 10% da altura total. Em cada uma das extremidades de cada seção realizou-se a medição dos diâmetros externos e internos e, por conseguinte, obteve-se a espessura da parede do colmo. Após as medições, foi possível obter o volume aparente do colmo e o volume oco presente no interior do colmo por meio do método de cubagem de Smalian – no entanto, consideramos na análise apenas os dados de volume aparente.

Foram testados cinco modelos matemáticos amplamente utilizados na literatura para estimação dos volumes aparentes dos colmos das três espécies, conforme explicitado na tabela 1: fator de forma, modelo de Husch, modelo de Schumacher & Hall, modelo de Stoate e modelo de Spurr.

Tabela 1. Modelos para estimativa de volume dos colmos

Denominação	Formulação
Fator de forma	$v = \frac{\pi d^2}{4000} * ht * f$
Husch	$\ln(v) = b_0 + b_1 * \ln(d) + e_i$
Schumacher & Hall	$\ln(v) = b_0 + b_1 * \ln(d) + b_2 * \ln(ht) + e_i$
Stoate	$v = b_0 + b_1 * d^2 + b_2 * d^2 ht + b_3 * ht + e_i$
Spurr	$v = b_0 + b_1 * d^2 + b_2 * d^2 ht + e_i$

Modelos matemáticos testados estatisticamente para estimativa do volume aparente dos colmos de *B. vulgaris*, *B. oldhamii* e *Phyllostachys aurea* na região metropolitana de Curitiba, Paraná, em que:

$$f = \frac{V_r}{V_c}$$

f = fator de forma,

v_r = volume real cubado do colmo (m³);

v_c = volume do cilindro calculado com base no dap (m³);

d = dap do colmo (cm);

ht = altura/comprimento total do colmo (m);

b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes a serem ajustados;

\ln = logaritmo neperiano;

e_i = erro associado.

Para obtenção dos coeficientes necessários para o desenvolvimento dos modelos de regressão, foi utilizado o método da regressão linear ordinária por mínimos quadrados. Os ajustes dos modelos foram avaliados pelos critérios gerais de qualidade e pela análise gráfica de resíduos disposta na tabela 2.

Para a seleção do melhor modelo de estimativa de volume aparente dos colmos, buscou-se aquele de maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor erro padrão da estimativa em percentagem ($Sy_x\%$) e menor critério de informação de Akaike (AIC), com uma equilibrada distribuição de resíduos ao longo da linha estimativa, ou seja, sem vieses aparentes.

Tabela 2. Seleção dos modelos

Critério	Formulação
Coefficiente de determinação ajustado	$R^2_{\text{adj.}} = 1 - \frac{(n-k)(1-R^2)}{n-k}$ <p>em que:</p> $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$
Erro padrão da estimativa em porcentagem	$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{v}} 100$ <p>em que:</p> $S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-k}}$
Critério de Informação de Akaike (Akaike, 1973)	$AIC = -2 \left(\frac{-n}{2} h \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \right) \right) + 2k$
Análise de resíduos	$e_i\% = \frac{(v_i - \hat{v}_i)}{v_i} 100$ <p>e:</p> $e_i = (v_i - \hat{v}_i)$

Critérios de seleção dos modelos matemáticos utilizados no estudo.

Em que:

n = número de observações;

k = número de parâmetros do modelo;

\hat{v}_i = volume estimado. v_i = volume real; \bar{v} = volume observado médio.

Para AIC, k deve ser acrescido de 1, que refere-se a um grau de liberdade da variância.

Resultados e discussão

De forma geral, os ajustes para *B. vulgaris* e *B. oldhamii* foram superiores em comparação com *P. aurea*, como se vê na tabela 3. Isso ocorreu devido à maior variabilidade dos volumes de *P. aurea* em virtude do seu histórico e manejo. Essa espécie ocorre espontaneamente na área de estudo, formando um mato com colmos de diferentes dimensões e faixas etárias que se dispersam constantemente devido ao seu hábito alastrante (Greco, 2013; Sanquetta et al., 2014). Já as duas espécies do gênero *Bambusa* crescem em condições de plantio controlado, apresentando maior homogeneidade dimensional e etária, bem como maior uniformidade de manejo. Ambas as espécies do gênero *Bambusa* são entouceirantes (Mognon, 2015).

Tabela 3. Estatísticas de ajuste

Espécie	Modelo	R ² a	Syx%	AIC
<i>B. oldhamii</i>	Fator de forma	0,9750	17,72	-389,04
	Husch	0,9319	29,25	-358,94
	Schumacher & Hall	0,9815	15,23	-395,92
	Spurr	0,9926	9,66	-424,18
	Stoate	0,9922	9,82	-419,80
<i>B. vulgaris</i>	Fator de forma	0,9705	13,84	-404,15
	Husch	0,9723	13,43	-400,73
	Schumacher & Hall	0,9920	7,20	-438,03
	Spurr	0,9916	7,38	-440,62
	Stoate	0,9926	6,94	-441,41
<i>P. aurea</i>	Fator de forma	0,6332	40,89	-414,21
	Husch	0,7559	25,39	-386,98
	Schumacher & Hall	0,8305	21,15	-389,45
	Spurr	0,8100	22,00	-378,05
	Stoate	0,8161	22,03	-428,63

Dados estatísticos de ajuste de modelos de volume aparente testados nos colmos de *B. vulgaris*, *B. oldhamii* e *Phyllostachys aurea*.

O modelo de Spurr foi o que apresentou melhor ajuste para *B. oldhamii*, seguido do modelo de Stoate. O modelo de Husch se mostrou bem inferior aos demais testados, como indicado pelo seu elevado valor de Syx%. Já os demais (fator de forma e Schumacher & Hall) ficaram numa escala intermediária. Esses resultados apontam que, para a espécie em questão, a modelagem do volume apenas em função do diâmetro dos colmos é imprópria, sendo necessária a utilização da variável altura do colmo para uma estimativa satisfatória.

Para a espécie *B. vulgaris*, o modelo de Stoate foi que proporcionou melhor ajuste, seguido de perto pelos modelos de Spurr e de Schumacher & Hall. Os modelos de Husch e do fator de forma apresentaram estatísticas de ajuste menos favoráveis, o que indica que o uso do fator de forma médio e a modelagem apenas com o diâmetro dos colmos resulta em estimativas menos acuradas. Em geral, os ajustes para essa espécie foram melhores que para a espécie *B. oldhamii*.

Por fim, o melhor modelo para *P. aurea* foi o de Stoate, embora suas estatísticas de ajuste estejam próximas daquelas encontradas com os modelos de Spurr e Schumacher & Hall. O uso de fator de forma proporciona estima-

tivas insatisfatórias. Nesse caso, o modelo de Husch (apenas com dap como variável independente) apresenta estatísticas de ajuste mais favoráveis, se aproximando dos demais modelos de regressão, o que pode indicar que, para essa espécie, um modelo de simples entrada pode ser aplicado.

A análise de resíduos corroborou o desempenho satisfatório dos modelos selecionados, como mostra a figura 1. A distribuição dos resíduos ao longo do eixo de estimativa se comportou de modo uniforme e sem vieses. Como mostram os gráficos, os resíduos em porcentagem oscilam entre $\pm 40\%$ para as espécies de *Bambusa* e $\pm 60\%$ para *P. aurea*.

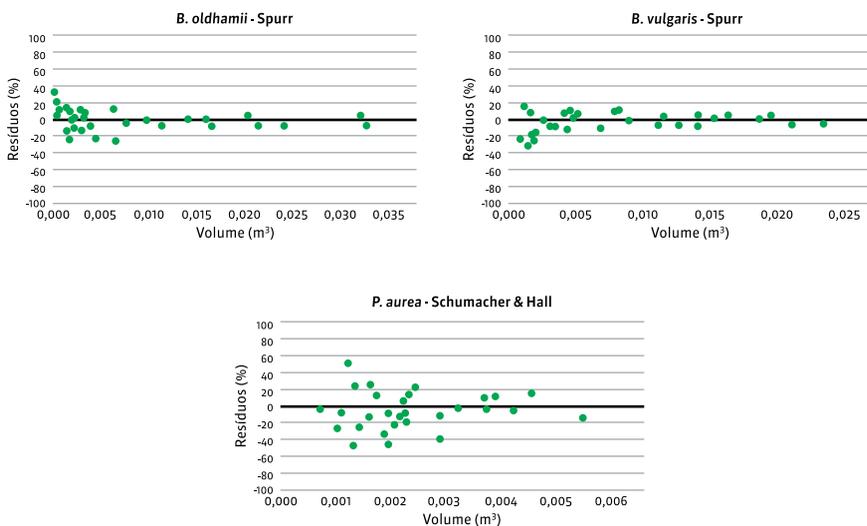


Figura 1. Distribuição gráfica de resíduos ($e_i\%$) da estimativa do volume aparente com os melhores modelos testados para três espécies de bambus na região metropolitana de Curitiba (PR)

No Brasil, como apontamos anteriormente, são raros os trabalhos que tratam da estimativa de volume de espécies de bambus. Nascimento e Lucia (1994) desenvolveram equações volumétricas e tabelas de volume para a espécie *Dendrocalamus giganteus* empregando dados de 14 colmos. No trabalho dos autores citados, as equações testadas apresentaram indicadores estatísticos superiores aos encontrados no trabalho que nesta ocasião é apresentado. Spolidoro (2008), utilizando 12 indivíduos para ajuste de equações de volume do colmo de *B. vulgaris* e *B. tuldoides*, verificou que o modelo de Husch expressou adequadamente a relação entre o volume e o diâmetro. Tal fato não foi verificado neste estudo.

García e Kleinn (2010) ajustaram equações de comprimento e volume de colmos para *Guadua angustifolia* na região cafeeira da Colômbia. Concluíram que modelos de regressão que incluem o diâmetro quadrático apresentaram melhor desempenho para a estimativa volumétrica e que a inclusão da variável comprimento do colmo melhorou significativamente a capacidade preditiva da equação. Essas constatações também se verificaram no presente estudo.

Podem-se destacar, também, alguns estudos japoneses a respeito dos volumes para diferentes espécies do gênero *Phyllostachys* (Watanabe & Oohata, 1980; Watanabe et al., 1989; Inoue et al., 2011; Inoue et al., 2012; Suga et al., 2011). A abordagem de modelagem empregada por esses autores foi diferente da usada neste trabalho. Os autores citados empregaram a chamada two-way volume equation (equação de volume de duas vias), atingindo resultados promissores, o que sugere que essa seja uma modelagem interessante, a ser testada futuramente em outros trabalhos com as espécies analisadas neste estudo.

Conclusões

1. Os ajustes de equações para *B. oldhamii* e *B. vulgaris* foram satisfatórios, sendo possível estimar o volume aparente de forma acurada a partir do dap e da altura total dos seus colmos.
2. Já para *P. aurea* os ajustes foram piores, devido à heterogeneidade natural dos colmos dessa espécie perante as condições de manejo. Esse caso em particular requer, portanto, estudos mais aprofundados, com maior intensidade amostral, estratificação dos dados e/ou teste de novos modelos.
3. O modelo de Husch, que utiliza apenas o dap como variável independente, produz estimativas de pior qualidade quando comparado aos demais, que usam também a altura dos colmos. Embora o modelo do fator de forma tenha se mostrado insatisfatório para *P. aurea*, acredita-se que possa, por sua simplicidade, ser aplicável para as outras espécies.

Agradecimentos

Ao Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), da Petrobras, à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à Fundação da Universidade Federal do Paraná (Funpar), pelo financiamento deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por concessão de bolsas de pesquisa vinculadas a este projeto;

Aos integrantes do Centro BIOFIX de Pesquisas em Biomassa e Carbono, da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio em atividades de campo e de laboratório.

Referências

- AOKI, T. On the volume table of Madake (*Phyllostachys reticulata* C. Koch) stem. **Reports of the Kyushu University Forests**, v.5, p.49-82, 1955.
- CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; SCARAVELLI, T. L.; SANTINI, É. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, v.13, n.1, p.57-63, 2007.
- GARCÍA, J.C.C.; KLEINN, C. Length curves and volume functions for *guadua* bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) for the coffee region of Colombia. **European Journal of Forest Research**, v.129, p.1213-1222, 2010.
- GRECO, T.M. Diversidade de bambus (Poaceae: Bambusoideae) na Ilha de Santa Catarina, Brasil. 2013. 153p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- INOUE, A.; SAKAMOTO, S.; SUGA, H.; KITAHARA, F. Estimation of culm volume for bamboo, *Phyllostachys bambusoides*, by two-way volume equation. **Biomass and Bioenergy**, v.35, p.2666-2673, 2011.
- INOUE, A.; SAKAMOTO, S.; KITAZATO, H.; SAKUTA, K. Development of two-way volume equation for bamboo, *Phyllostachys nigra*. **Journal of Forest Planning**, v.18, p.13-19, 2012.
- JUDZIEWICZ, E.J.; CLARK, L.G.; LONDOÑO, X. American bamboos. Washington, D.C.: **Smithsonian Institution Press**, 1999. 392 p.
- KONDO K.; FURUTANI S.; WATANABE, K. Estimation of solid volume of Mosoutiku (*Phyllostachys pubescens*). **Journal of the Japanese Forest Engineering**, v.18, n.4, p.239-243, 2004.
- MOGNON, F. Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu. 2015. 82p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- NASCIMENTO, A.M.; LUCIA, R.M.D. Modelos estatísticos estimadores para confecção de tabelas de volume e peso seco para o bambu gigantes (*Dendrocalamus giganteus*). **Floresta e Ambiente**, v.1, p.28-39, 1994.
- NOGUEIRA, C. de L. Ciência do material bambu e tecnologia de sua aplicação em vigas laminadas coladas de seção transversal composta. 2013. 167p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.



- RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L.P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. Zoneamento de riscos de incêndio florestais para a Fazenda Experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Floresta**, v.38, n.3, p.561-572, 2008.
- SANQUETTA, M.N.I.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; MONASTIER, S. H. Equações hipsométricas para obtenção de comprimento de colmo para *Phyllostachys aurea* Carr. ex A.& C. Rivi' re. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p.990-997. 2014.
- SILVA, R. M. de C. O bambu no Brasil e no mundo. Goiânia: Embambu, 2005. Disponível em: <http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil.pdf>. Acesso em 25 jan. 2007.
- SPOLIDORO, P.J. Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides*. Monografia (Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Florestal). 2008. 55p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SUGA, H.; INOUE, A.; KITAHARA, F. Derivation of two-way volume equation for bamboo, *Phyllostachys pubescens*. **Journal of Forest Research**, v.16, p.261-267, 2011.
- VASCONCELLOS, R.M. Bambu brasileiro. Disponível em: <www.bambubrasileiro.com/info/>. Acesso em 10 set. 2007.
- WATANABE, M.; INOUE, M.; TAKANO T. Discussion on the prediction of culm height in *Phyllostachys bambusoides* bamboos. **Bamboo Journal**, v.7, p.27-38, 1989.
- WATANABE, M.; OOHATA, S. Studies on bamboo culm form (I). On *Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc. **Journal of the Japanese Forestry Society**, v.62, p.9-16, 1980.

Protocolo para micropropagação de duas espécies de *Guadua*



Francilina Araújo Costa⁽¹⁾ André Araújo Marques⁽²⁾,
Josimara Nolasco Rondon⁽³⁾ e Marney Pascoli Cereda⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio. Universidade Católica Dom Bosco. Av. Tamandaré, 6000, Jardim Seminário, Campo Grande-MS, 79117-900. E-mail: fcosta@ucdb.br

⁽²⁾ Acadêmico do curso de Agronomia, Universidade Católica Dom Bosco.
E-mail: agromarques2@yahoo.com.br

⁽³⁾ Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco. E-mail: 4132@ucdb.br

⁽⁴⁾ Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio, Universidade Católica Dom Bosco.
E-mail: cereda@ucdb.br

Resumo – Este artigo apresenta os procedimentos utilizados para o estabelecimento de um protocolo para micropropagação das espécies *Guadua longifimbriata* E.G. Camus e *Guadua angustifolia* Kunth. As gemas axilares de ramos laterais foram desinfestadas e inoculadas em meio de cultura MS suplementado com 8,88 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de BAP (6-Benzil aminopurina) e 30 g L^{-1} de sacarose com adição de fungicidas em meio sólido contendo 7 g de ágar. Na fase de multiplicação, os brotos foram subcultivados em meio de cultura MS suplementado com 22,20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de BAP com taxa regenerativa variando de 24% a 35%. Posteriormente, os brotos foram transferidos para meio de cultura MS suplementado com 24,60 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de IBA + 2,22 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de BAP, visando o enraizamento das plântulas. Avaliou-se a consistência dos meios de cultura líquidos, com e sem agitação, e de um meio de cultura sólido. A micropropagação das duas espécies foi bem-sucedida. Na análise do meio, as plantas apresentaram o mesmo desenvolvimento *in vitro* independentemente da consistência. As plantas enraizaram em meio contendo 24,60 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de IBA + 2,22 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de BAP. Na aclimatização, as plantas apresentam 100% de sobrevivência em substrato comercial e em substrato feito a partir de casca de arroz carbonizado e solo.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: CULTIVO *IN VITRO*, GUADUA, MICROPROPAGAÇÃO.

Protocol for micropropagation of two species of *Guadua*

Abstract – This text refers to the establishment of a protocol for micropropagation of bamboo species *Guadua longifimbriata* E.G. Camus and *Guadua angustifolia* Kunth. The axillary buds of lateral branches were disinfected and inoculated on the MS culture medium supplemented with $8.88 \mu\text{mol L}^{-1}$ BAP (6-benzyl aminopurine) and 30 g L^{-1} sucrose with the addition of fungicides in solid medium containing 7 g of agar. In the multiplication phase, the shoots were subcultured on MS medium supplemented with $22.20 \mu\text{mol L}^{-1}$ BAP with regenerative rate ranging from 24% to 35%. Then the shoots were transferred to MS medium supplemented with $24.60 \mu\text{mol L}^{-1}$ IBA + $2.22 \mu\text{mol L}^{-1}$ BAP, so that the seedlings could grow roots. The consistency of the liquid culture medium with and without stirring, and that of a solid culture medium were also assessed. The micropropagation of the two species was successful. The plants had the same in vitro development regardless of the consistency of the medium. They rooted in medium containing $24.60 \mu\text{mol L}^{-1}$ IBA + $2.22 \mu\text{mol L}^{-1}$ BAP. Regarding the acclimatization, the plants exhibited 100% survival in commercial substrate and in the substrate made from carbonized rice husk and soil.

INDEX TERMS: IN VITRO CULTURE, GUADUA, MICROPROPAGATION.

Introdução

Atualmente são conhecidas no mundo 1.439 espécies de bambu distribuídas em 121 gêneros (Bamboo Phylogeny Group, 2012), sendo o Brasil o país com a maior diversidade do continente americano (Grombone-Guaratinl et al., 2011). O gênero *Guadua*, conhecido como o bambu tropical, é o mais importante economicamente. Originário da América do Sul, estende-se até os Andes venezuelanos e ao sul da fronteira entre o Equador e o Peru. Cultivado no Brasil, pode atingir 30 metros de altura e entre 15 e 20 centímetros de diâmetro (Marulanda et al., 2005). Seus usos estão associados à construção civil, produção de lenha, fabricação de artesanato e móveis, e proteção de solo e de fontes de água (Marulanda et al., 2005).

Em termos sociais, o uso do bambu facilita a inserção social de populações excluídas e com baixo conhecimento técnico. Seu cultivo demanda uso

de tecnologia de rápida e fácil assimilação pelos produtores, apresentando grande potencial de geração de trabalho e renda (Fialho, 2005; Mognon et al., 2014). Contudo, a exploração comercial do bambu encontra dificuldades na aquisição de mudas.

A propagação do bambu é baseada em métodos vegetativos devido à dificuldade de obtenção de sementes, pois estas são raras em função do imprevisível e longo período que essas plantas levam para florescer (Lin et al., 2010; Mudoj et al., 2013). As mudas são, em geral, obtidas pelo desdobramento das touceiras ou pelo plantio de pedaços do colmo, formando estacas acompanhadas de raízes e parte do rizoma, um método muito trabalhoso e de baixo rendimento (Fonseca, 2007).

A micropropagação é a principal técnica aplicada a várias espécies de bambu, sendo considerada a mais apropriada para a produção de mudas em larga escala e livres de doenças (Marulanda et al., 2005; Brar et al., 2013; Mudoj et al., 2013). No entanto, a micropropagação apresenta problemas que devem ser superados para algumas espécies, tais como a contaminação por fungos e bactérias, a necrose dos explantes ou brotos durante as fases de estabelecimento e multiplicação, e as baixas taxas de enraizamento e sobrevivência durante a fase de aclimatização (Negi & Saxena, 2011; Singh et al., 2013).

Vários protocolos de micropropagação foram publicados na literatura para diferentes tipos de bambu, no entanto seu uso em escala comercial ainda é restrito a algumas espécies (Saxena & Dhawan, 2004). Assim, é necessário ampliar e aprofundar os estudos visando o desenvolvimento de protocolos com espécies de bambu importantes economicamente de modo a estabelecer novas plantações, restabelecer áreas desmatadas e preservar áreas nativas.

Entre as etapas da micropropagação que ainda requerem investigação está a escolha do substrato. Após o cultivo inicial dos explantes *in vitro* é necessário um período de aclimatização visando assegurar a sobrevivência das plântulas micropropagadas nas condições de cultivo em campo (Mudoj et al., 2013). A escolha de um substrato adequado reduz a mortalidade das plantas durante a aclimatização (Moreira et al., 2006) e influencia a arquitetura do sistema radicular e o estado nutricional das plantas. Portanto, o substrato deve apresentar características químicas e físicas adequadas para o crescimento satisfatório do sistema radicular (Carvalho Filho et al., 2002; Leal et al., 2007).

No presente artigo, descreve-se o estabelecimento de um protocolo para a micropropagação das espécies *Guadua longifimbriata* E.G. Camus e *Guadua angustifolia* Kunth.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Cultura de Tecidos do Centro de Tecnologia e Estudos do Agronegócio (Ceteagro) da Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, MS. O protocolo teve como base metodologia desenvolvida por Jimenez e Guevara (2007) com algumas modificações, descritas nos procedimentos abaixo.

FASE DE ESTABELECIMENTO - Foram realizadas desinfestações dos explantes contendo gemas axilares de modo a eliminar microrganismos contaminantes. Os ramos laterais com gemas laterais (protegidas ou não pela bainha da folha) foram cortados. No caso de ramos com gemas protegidas por bainha, foram selecionadas somente as seções nas quais as bainhas estavam secas, indicando a maturidade das gemas, um fator que contribui para uma melhor brotação. Os ramos laterais foram cortados em partes com aproximadamente 30 cm de comprimento e colocados em um recipiente com água destilada para evitar desidratação. Posteriormente, foram seccionados em partes de três a cinco centímetros de comprimento de modo que cada explante apresentasse apenas uma gema.

O primeiro passo do processo de desinfestação foi submergir os explantes em várias lavagens com água destilada. Em seguida, foram levados para a câmara de fluxo laminar e passaram por uma tríplice lavagem com álcool 70%. Foram então colocados em solução fungicida e bactericida (Manzate® 1 g L⁻¹ + Benomyl® 1 g L⁻¹ + Cloranfenicol® 1 g L⁻¹) e filtroesterilizados por 15 minutos, sendo depois submersos em solução de hipoclorito de sódio 1,5% com a adição de três gotas de Tween® 80% por mais 15 minutos, realizando-se constantes agitações com um bastão de vidro. Após essa etapa, foram lavados três vezes com água destilada estéril, fazendo-se a transferência para placas de Petri forradas com papel filtro estéril. Para redução do tamanho do explante cortou-se pequenos pedaços das extremidades.

Os explantes desinfestados foram inoculados em frascos de vidro de 250 ml contendo meio de cultura MS (Murashige & Skoog, 1962) suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, inositol 100 mg L⁻¹, ágar 7 g L⁻¹ e BAP (6-Benzil aminopurina) na concentração de 2 mg L⁻¹ (8,88 µmol L⁻¹). O pH do meio de cultura foi ajustado para 5,7. Ao meio foram acrescentados os fungicidas sistêmicos benomyl® 0,5 ml L⁻¹ + derosal® 0,5 ml L⁻¹ filtroesterilizados. Os explantes foram colocados nos frascos, que foram vedados com filme plástico de PVC e levados para a sala de crescimento sob temperaturas entre 25 °C e 28 °C, densidade de fluxo de fótons de 45 e/m²/s⁻¹ e fotoperíodo de 16 horas.

Para cada espécie de *Guadua* utilizou-se cinquenta repetições. O tempo que cada espécie levou para iniciar a brotação das gemas, a porcentagem de brotação dos explantes e a porcentagem de contaminação por microorganismos foram avaliados diariamente. Foi considerado início da brotação o início da formação de tecido vegetal novo nas regiões meristemáticas das gemas com consequente emissão do broto a partir do dia de inoculação do explante no meio.

Para a identificação do fungo contaminante de maior ocorrência nos explantes, lâminas foram analisadas microscopicamente observando-se as estruturas fúngicas em chaves de identificação, conforme a literatura de Barnett e Hunter (1987).

FASES DE MULTIPLICAÇÃO E ENRAIZAMENTO - Após 25 dias em meio de estabelecimento, as plantas foram transferidas para meio MS suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, inositol 100 mg L⁻¹, ágar 7 g L⁻¹, sem fungicida e com a presença de 5 mg L⁻¹ (22,20 μmol L⁻¹) de BAP para induzir a multiplicação de brotos. Após 70 dias, foi realizada a transferência das plantas para o meio de enraizamento adicionando-se 5 mg L⁻¹ (24,60 μmol L⁻¹) de Ácido Indol Butírico (IBA) + 0,5 mg L⁻¹ (2,22 μmol L⁻¹) de BAP ao meio MS. Nessa etapa foi observado o número médio de raízes por brotações.

EFEITO DA CONSISTÊNCIA DO MEIO DE CULTURA - Foram adotados três tratamentos com 25 repetições cada, sendo eles: meio MS líquido sob agitação (em uma mesa agitadora modelo TE-140, marca Tecnal, instalada na sala de crescimento a 80 RPM), meio MS líquido sem agitação e em meio MS gelificado com 7 g de ágar. O meio MS foi suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, inositol 100 mg L⁻¹ e 5 mg L⁻¹ (24,60 μmol L⁻¹) de IBA + 0,5 mg L⁻¹ (2,22 μmol L⁻¹) de BAP.

Os explantes foram colocados nesses meios nas mesmas condições de cultivo citadas acima. Após 45 dias foram avaliados o número de brotos formados e a altura da planta (em centímetros). Os dados obtidos foram analisados utilizando-se o programa SISVAR®, e a comparação entre as médias foi analisada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

SUBCULTIVOS - Os explantes das duas espécies de *Guadua* foram separados na base do rizoma, com todos os brotos apresentando raízes. As folhas das brotações que apresentavam amarelecimento parcial ou generalizado foram retiradas, e as brotações foram transferidas para meio de cultura MS líquido suplementado com 30 g L⁻¹ de sacarose, inositol 100 mg L⁻¹ contendo 5 mg L⁻¹ (22,20 μmol

L⁻¹) de BAP. Para a sustentação das plantas utilizou-se ponte de papel filtro. As plantas foram submetidas a sete subcultivos, sendo 45 dias o período de cada subcultivo. As condições de cultivo foram as mesmas citadas na fase de multiplicação. Foi avaliada a média do número de brotações por subcultivos.

ACLIMATIZAÇÃO - As plântulas de *Guadua longifimbriata* com aproximadamente 70 dias de crescimento e que apresentavam raízes bem desenvolvidas foram submetidas ao processo de aclimatização. Essas plântulas foram retiradas do meio MS líquido e tiveram suas raízes limpas com água destilada, removendo-se os resíduos do meio de cultura.

Foram utilizados quatro tratamentos com diferentes tipos de substratos: areia lavada; solo de barranco; substrato comercial Vida Verde contendo casca de pinus, turfa, vermiculita expandida e enriquecido com macro e micronutrientes; e um substrato produzido com palha de arroz carbonizado, solo de barranco e húmus na proporção de 2:3:3. Os substratos foram preparados e esterilizados duas vezes a pressão de uma atmosfera e a 120 °C por 30 minutos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, contendo dez repetições por tratamento.

Os substratos foram colocados em copos plásticos transparentes de 500 ml com furos no fundo e com outro copo plástico transparente por cima. Esse conjunto foi vedado com filme de PVC nas extremidades para evitar evapotranspiração. O plantio das mudas foi feito no centro do copo de forma que o substrato cobrisse o sistema radicular. Os copos contendo as plantas foram acondicionados dentro de bandejas de PVC com uma lâmina de água cinco centímetros de altura. As bandejas foram colocadas em casa de vegetação, sob sombrite com malha de 50% de extinção de luz. Foram colocadas seis camadas sobrepostas de sombrite e a cada dia uma camada foi retirada, até exposição completa das plantas às condições de luminosidade do ambiente. Uma vez por semana foi aplicada uma solução nutritiva (Hogland & Arnon, 1950) nos substratos testados. A sobrevivência das plantas foi avaliada em porcentagem após 60 dias de cultivo. Os dados obtidos foram analisados utilizando-se o programa SISVAR® e a comparação entre as médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

A seguir são apresentados e discutidos os resultados das etapas e procedimentos adotados.

FASES DE ESTABELECIMENTO E MULTIPLICAÇÃO - Tanto *Guadua longifimbriata* quanto *Guadua angustifolia* variaram em relação ao período de início da brotação (tabela 1). A espécie *G. longifimbriata* levou poucos dias para brotação, com um intervalo de tempo menor para todas as plantas que brotaram iniciarem a brotação. *G. angustifolia* demorou mais e apresentou mais variações de dias para brotar em meio de cultura com fungicida. O período de brotação observado para essas espécies é similar ao relatado para *G. angustifolia* cultivada *in vitro* (Jiménez et al., 2006).

Tabela 1. Número de dias para o início da brotação *in vitro* de duas espécies de bambu do gênero *Guadua*

Espécies	Início da brotação
<i>Guadua longifimbriata</i>	3-5 dias
<i>Guadua angustifolia</i>	5-15 dias

Durante o processo de estabelecimento, 15% a 19% dos explantes apresentaram contaminações por fungos e bactérias (tabela 2) desde os primeiros dias de cultivo, sendo a contaminação por fungos mais frequente, chegando a matar os explantes. No entanto, o índice de contaminação foi baixo, indicando que o processo de desinfestação realizado foi eficiente. O fungo contaminante mais presente foi *Fusarium* sp. e, por isso, foram acrescentados ao meio os fungicidas sistêmicos Derosal e Benomil, específicos para o controle desse fungo.

Tabela 2. Porcentagem de contaminação e de brotação de duas espécies de bambu do gênero *Guadua*

Espécies	Contaminação (%)	Emissão de brotos (%)
<i>Guadua longifimbriata</i>	19	24
<i>Guadua angustifolia</i>	15	35

Observou-se que *G. angustifolia* apresentou menores índices de contaminação e maiores índices de brotação que *G. longifimbriata*. Baixo índice de contaminação foi também obtido por Jiménez et al. (2006) para *G. angustifolia* com o uso de explantes obtidos de casa de vegetação – 11%, em comparação com as contaminações observadas para os explantes obtidos a partir de plantas matrizes mantidas em campo, que ficaram entre 52% e 94% – e utilizando antibiótico (Agrimycina) e fungicida (Benomil) no meio de cultura. Baixos índices de contaminações por fungos (19%) e bactérias (27%) foram observados por Marulanda et al. (2005) em resposta ao uso de cloreto

de mercúrio 0,3%, e um maior índice de contaminação por bactérias (42%) e fungos (47%) em resposta ao hipoclorito de sódio 2%, resultando em uma menor brotação das gemas (11%).

No presente trabalho ambas as espécies apresentaram índices de brotação das gemas axilares variando entre 24% e 35%. Um dos principais problemas na obtenção do cultivo *in vitro* de bambu é a oxidação dos explantes, uma vez que estes produzem compostos fenólicos (Mudoj et al., 2013). A oxidação dos explantes foi observada no presente trabalho, o que ajuda a explicar os baixos índices de brotação.

Outro fator que pode ter influenciado na baixa porcentagem de brotação foi a época de coleta dos explantes. Segundo Mudoj et al. (2014), a época de coleta é um fator crítico para o estabelecimento e o crescimento das culturas *in vitro*. Em certos casos, a época de coleta dos explantes é mais importante do que a seleção do meio de cultura. Em *Bambusa nutans*, a brotação máxima (45%) e número médio de brotos (5,90) ocorreram durante início do outono. Porém, no inverno, ocorreram apenas 35,02% de brotação e um número menor de brotos. O autor afirma que durante esse período a exsudação de compostos fenólicos é maior, levando a uma redução nas brotações. Esse fenômeno pode ter interferido na brotação dos explantes de *Guadua* avaliados no presente trabalho, pois a coleta e a fase de estabelecimento dos explantes ocorreram no inverno. A ocorrência de contaminações e a brotação das gemas também estão associadas à idade fisiológica da planta matriz e à posição das gemas na planta, uma vez que gemas mais jovens brotam menos do que as mais maduras, localizadas nos terços médio e basal dos bambus (Marulanda et al., 2005).

Apesar dos baixos índices de brotação das gemas, o uso de gemas axilares se mostrou eficiente na obtenção de plantas micropropagadas, pois explantes responderam satisfatoriamente a todas as fases de cultivo *in vitro*. De forma similar ao presente trabalho, o cultivo *in vitro* de bambu utilizando gemas axilares foi realizado com sucesso para várias espécies de bambu, principalmente os asiáticos (Bag et al., 2000, Ramanayake et al., 2001; Jiménez et al., 2006; Ramanayake et al., 2006; Kapruwan et al., 2014; Bakshi et al., 2015). A concentração de 5 mg L⁻¹ de BAP utilizada na fase de multiplicação foi eficiente para induzir a formação de novas brotações.

FASE DE ENRAIZAMENTO - Após 70 dias de cultivo somente metade das brotações maiores de *G. longifimbriata* e *G. angustifolia* emitiram raízes espontaneamente, porém em pouca quantidade. Já as brotações menores não emitiram raízes e apresentaram amarelecimento das folhas. Esses resultados são discrepantes aos reportados por Jiménez et al. (2006), que observaram, para

o gênero *Guadua*, que todas as brotações emitiram raízes espontaneamente após 69 dias em meio de cultura sem a presença de auxinas. Por outro lado, houve semelhança com este trabalho em relação ao tempo necessário para que as brotações começassem a formar raízes.

Para induzir e aumentar o enraizamento *in vitro*, as brotações foram transferidas para um meio de enraizamento contendo 5 mg L^{-1} de IBA + $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de BAP. As brotações apresentavam sintomas de deficiência nutricional, com coloração amarelo intenso (clorose) das folhas e poucas brotações. Aproximadamente 50 dias após a transferência para o meio de enraizamento todas as brotações apresentaram raízes bem desenvolvidas, com uma média de 15 a 20 raízes (figura 1), o número de brotações aumentou e a quantidade de folhas cloróticas diminuiu.

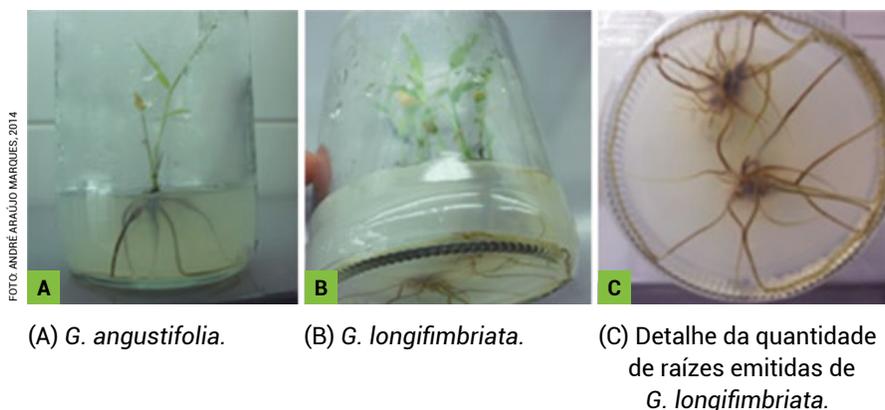


Figura 1. Enraizamento de plantas de bambu *in vitro* aos 120 dias de cultivo e crescimento em meio MS líquido com e sem agitação e meio gelificado

A regeneração *in vitro* do gênero *Guadua* também foi obtida através de organogênese direta de explantes nodais por Marulanda et al. (2002), porém as taxas de multiplicação e a eficiência do enraizamento não foram claramente descritas.

CONSISTÊNCIA DO MEIO DE CULTURA - O efeito da consistência do meio de cultura sobre a altura e o número de brotações de *Guadua angustifolia* após 60 dias encontra-se expresso na figura 2. A consistência do meio de cultura não influenciou a altura das brotações.

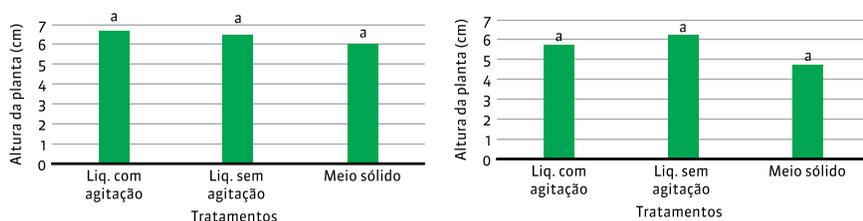


Figura 2. Altura da planta e número de brotos produzidos de *G. angustifolia* após 45 dias de cultivo em meio MS líquido com e sem agitação e em meio gelificado. Valores comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Era esperado que as brotações em meio líquido apresentassem melhor desenvolvimento pois, segundo Marulanda et al. (2005), o meio líquido apresenta maior distribuição e disponibilidade de nutrientes. Da mesma forma, não houve diferença entre os tratamentos quanto ao número de brotos emitidos (figura 3), concluindo-se que a consistência do meio de cultura não interferiu no desenvolvimento das brotações de *Guadua angustifolia* sob as condições avaliadas. Na maioria dos trabalhos que relatam o cultivo *in vitro* de espécies de bambu, o meio utilizado é gelificado (Marulanda et al., 2005; Jiménez et al., 2006).



FOTO ANDRÉ ARAÚJO MARQUES, 2014

Figura 3. (A) Plântulas de *G. angustifolia* em meio de cultura MS gelificado aos 30 dias de cultivo. (B) Plântulas de *G. angustifolia* em meio de cultura MS líquido sem agitação aos 65 dias de cultivo. (C) Plântulas de *G. angustifolia* em meio de cultura líquido sob agitação aos 65 dias de cultivo

SUBCULTIVOS - Os sucessivos subcultivos de ambas as espécies em meio líquido resultou em resposta satisfatória quanto ao crescimento e ao número de brotações, observando-se rápido desenvolvimento das plantas. Foram efetuados sete subcultivos no total, não sendo observada nenhuma anormalidade no crescimento das plantas. Em trabalho realizado com *G. angustifolia*, Jiménez et al. (2006) reportaram seis subcultivos.

As folhas das brotações das duas espécies estudadas apresentaram coloração verde claro muito próximo ao amarelo, no entanto, com o passar do tempo, o amarelecimento tornou-se padrão para qualquer forma de cultivo avaliada. A cada subcultivo, as folhas amarelas eram retiradas, permanecendo somente as folhas mais novas, de cor verde. Após 15 dias de subcultivo, a clorose ocorria novamente, sempre associada à ausência de raízes na base das brotações. Os sintomas desapareceram com o surgimento e desenvolvimento das raízes.

Nas plantas de bambu jovens é comum ocorrer amarelecimento e queda das folhas (Galvão et al., 2009). Um fator que pode levar ao amarelecimento das folhas é a concentração de citocininas no meio, uma vez que essas substâncias atuam no atraso da senescência das folhas. A concentração de citocinina diminui abruptamente em órgãos maduros, induzindo o início da senescência. Quando se utilizam citocininas em folhas isoladas de muitas espécies, ocorre o retardo da senescência, como observado em *Alstroemeria* (Ferrante et al., 2002). Segundo Oliveira et al. (2007), a adição de citocinina ao meio de cultura tem reflexos positivos sobre a retenção das folhas durante as fases de multiplicação em virtude da menor taxa de abscisão foliar.

No presente trabalho um rizoma considerado como planta multiplicada continha de duas a quatro plantas (rizoma é um órgão subterrâneo de algumas plantas, com capacidade de formar novos indivíduos ou clones). A taxa média de multiplicação foi de quatro a cinco novas plantas por rizoma (planta multiplicadora) a cada 45 dias em meio gelificado. Jiménez et al. (2006) obtiveram uma taxa de multiplicação menor, com 2,5 novas plantas por planta multiplicada (contendo três a quatro plantas) a cada 42 dias. Já Marulanda et al. (2005) obtiveram apenas dois brotos por explante inicial. Em outras espécies de bambu a taxa de multiplicação tem sido muito variável, dependendo das condições de cultivo, tipo e concentração de citocinina.

FASE DE ACLIMATIZAÇÃO - As plântulas submetidas ao processo de aclimação mostraram ressecamento das folhas na primeira semana que permaneceram na casa de vegetação. No entanto, todas iniciaram as brotações na segunda semana. Os melhores substratos para a aclimatização foram o Vida Verde® e aquele produzido com palha de arroz carbonizado, solo de barranco e húmus (figura 4).

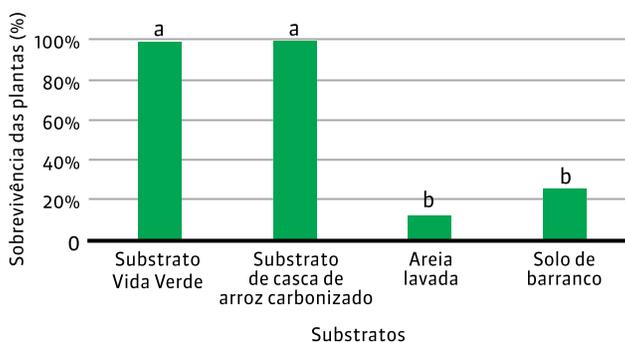


Figura 4. Porcentagem de sobrevivência de plantas de *Guadua longifimbriata* aclimatizadas em diferentes tipos de substratos após 60 dias de cultivo. Valores comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A porcentagem de sobrevivência nestes dois substratos foi de 100%. Para o substrato composto por areia a sobrevivência foi de 12,5%. O substrato composto por solo de barranco apresentou taxa de sobrevivência de 25%. Nos substratos Vida Verde® e na mistura de palha de arroz carbonizado, solo de barranco e húmus, as plântulas desenvolveram-se melhor do que nos substratos onde os índices de sobrevivência foram baixos (figura 5).

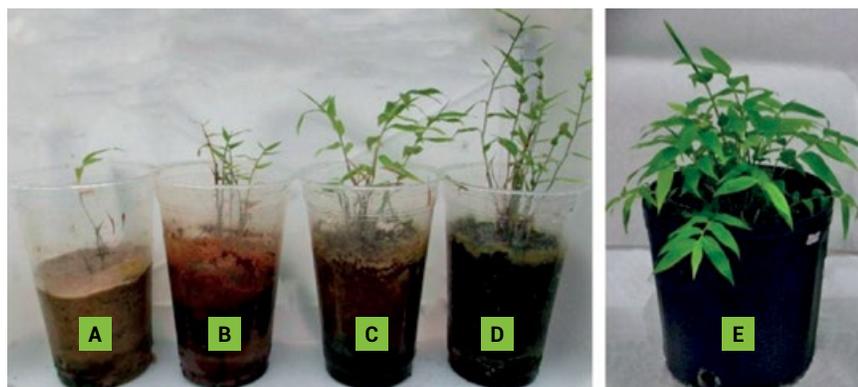


Figura 5. Plantas da espécie *Guadua longifimbriata* aclimatizadas em diferentes tipos de substrato: (A) areia, (B) solo de barranco, (C) substrato com casca de arroz carbonizado e (D) substrato comercial aos 60 dias. (E) Plantas de bambu aclimatizadas após 150 dias de transplante em substrato comercial

Os substratos que não apresentaram problemas de encharcamento foram a areia e o Vida Verde®. Como mencionado, a areia não resultou em bom desenvolvimento das plântulas, que apresentaram folhas cloróticas e morreram, apesar da aplicação da solução nutritiva a cada 15 dias.

Os substratos Vida Verde® e com arroz carbonizado foram melhores, possivelmente por apresentarem altos teores de matéria orgânica, possibilitando maior sobrevivência e melhor desenvolvimento das plântulas. Por outro lado, em outro trabalho, em substrato contendo uma mistura de solo e areia na proporção de 3:1 foi obtido 95% de sobrevivência das plantas de *Guadua* (Marulanda et al., 2005). Resultados semelhantes ao encontrado no presente trabalho foram observados com o uso de substrato contendo mistura de solo, areia e casca de arroz nas proporções de 1:1:1, com 100% de sobrevivência das plantas do gênero *Guadua* (Jiménez et al., 2006).

Conclusões

1. Foi possível estabelecer um protocolo para a micropropagação dos bambus *Guadua longifimbriata* e *Guadua angustifolia*.
2. Não houve diferença no desenvolvimento *in vitro* das plantas em resposta à consistência líquida ou gelificada do meio de cultura utilizado.
3. As plântulas de bambu apresentaram maior crescimento e enraizamento quando cultivadas em meio MS suplementado com IBA + BAP, apresentando, em média, de 15 a 20 raízes.
4. No processo de aclimatização, o substrato comercial Vida Verde® e o substrato composto com palha de arroz carbonizado, solo de barranco e húmus foram superiores aos demais, apresentando 100% de sobrevivência das plantas nas condições avaliadas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio ao projeto Desenvolvimento sustentável da região Centro-oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu (CNPq Processo 574 516/2008-5).

Referências

- BAG, N.; CHANDRA, S.; PALNI, L.M.S.; SHYAMAL, K.; NANDI, S.K. Micropropagation of Dev-ringal [*Thamnocalamus spathiflorus* (Trin.) Munro] — a temperate bamboo, and comparison between *in vitro* propagated plants and seedlings. **Plant Science**, v.156, p.125-135, 2000.
- BAKSHI, M.; TIWARI, C.; RAZVI, S. Conservation of an important montane bamboo *Thamnocalamus falconeri*, Hook.f. ex Munro through axillary bud proliferation. **Journal of Forestry Research**, v.26, p.179-185, 2015.
- Bamboo phylogeny group. An updated tribal and subtribal classification of the bamboos (Poaceae: Bambusoideae). **The Journal of the American Bamboo Society**, v.24, p.1-10, 2012.
- BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 4.ed. Minneapolis: MacMillan Publishing Company, 1987. 218p.
- BRAR, J.; ANAND, M.; SOOD, A. *In vitro* seed germination of economically important edible bamboo *Dendrocalamus membranaceus* Munro. **Indian Journal of Experimental Biology**, v.51, n.1, p.88-96, 2013.
- CARVALHO FILHO, J.L.S.; ARRIGONI-BLANK, M.F.; BLANK, A.F.; SANTOS-NETO, A.L.; AMÂNCIO, V.F. Produção de mudas de *Cassia grandis* L. em diferentes ambientes, recipientes e misturas de substratos. **Revista Ceres**, v.40, p.341-352, 2002.
- FERRANTE, A.; HUNTER, D.A.; HACKETT, W.P.; REID, M.S. Thidiazuron – a potent inhibitor of leaf senescence in *Alstroemeria*. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.25, n.3, p.333-338, 2002.
- FIALHO, E.G. Desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu: uma oportunidade para empreendedor. In: SEMINÁRIO LATINO-IBERROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA, 2005, Alagoas. Anais, p.1-10. Altec, 2005.
- FONSECA, F.K.P. Produção de mudas de bambu *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae) por propagação vegetativa. 2007.58p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas – Rio Largo.
- GALVÃO, F.; AUGUSTIN, C.R.; CURCIO, G.R.; DOMANOWSKI, B.P.; KOREZA, C.; SAWZU, A.T.; BONNET, A. Autoecologia de *Guadua* aff. *Paraguayana* (Poaceae). **Pesquisa Floresta Brasileira**, Colombo, v.58, p.05-16. 2009.
- GROMBONE-GUARATINI, M.T.; NASCIMENTO, A.A.; SANTOS-GONÇALVES, A.P. Flowering and fruiting of *Aulonemia aristulata*: a Gynomonocious woody bamboo species from Atlantic Forest in Brazil. **Revista Brasileira Botanica**, v.34, n.1, p.135-140, 2011.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils**. 1950. Berkeley: California Agricultural Experimental Station. 347p.
- JIMÉNEZ, V.M.; CASTILLO, J.; TAVARES, E.; GUEVARA, E.; MONTIEL, M. *In vitro* propagation of the neotropical giant bamboo, *Guadua angustifolia* Kunth, through axillary shoot proliferation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.86, p.389-395, 2006.
- JIMENEZ, V.M.; GUEVARA, E. Micropropagation of bamboo species through axillary shoot proliferation. In: JAIN, S.M.; HÄGGMAN, H. (Ed.). **Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits**. Springer Netherlands, p.465-476, 2007.
- KAPRUWAN, S.; BAKSHI, M.; KAUR, M. Rapid *in vitro* propagation of the solid bamboo, *Dendrocalamus strictus* nees, through axillary shoot proliferation. **Biotechnology International**, v.7, n.3, p.58-68, 2014.

- LEAL, L.; BIONDI, D.; NUNES, J.R.S. Propagação por sementes de *Schlumbergera truncata* (Haw.) Moran (flor-de-maio) em diferentes substratos. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v.29, p.277-280, 2007.
- LIN, X.C.; CHOW, T.Y.; CHEN H.H.; LIU, C.C.; CHOU, S.J.; HUANG, B.L.; KUO, C.I.; WEN, C.K.; HUANG, L.C.; FANG, W. Understanding bamboo flowering based on large scale analysis of expressed sequence tags. **Genetics and Molecular Research**, v.9, n.2, p.1085-1093, 2010.
- MARULANDA, M.L.; GUTIÉRREZ, L.G.; MÁRQUEZ, M.P. Micropropagación de *Guadua angustifolia* Kunth. **Actualidades Biológicas**, 27(82), 5-15, 2005.
- MARULANDA, M.L.; CARVAJALINO, M.; VARGAS, C.; LONDOÑO, X. La biotecnología aplicada al estudio y aprovechamiento de la *Guadua*. In: SEMINÁRIO – Taller avances en la investigación sobre *Guadua*, Pereira, Colombia, 2002.
- MOGNON, F.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R.; BARRETO, T.G.; WOJCIECHOWSKI, J. Estimativas de biomassa para plantas de bambu do gênero *Guadua*. **Revista Ceres**, v.61, n.6, p.900-906, 2014.
- MOREIRA, M.A.; CARVALHO J.G.; PASQUAL, M.; FRÁGUAS, C.B.; SILVA, A. Efeito de substratos na aclimatização de mudas micropropagadas de abacaxizeiro cv. Pérola. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.875-879, 2006.
- MUDOI, K.D., SAIKIA, S.P.; GOSWAMI, A.; GOGOI, A.; BORA, D.; BORTHAKUR, M. Micropropagation of important bamboos: A review. **African Journal of Biotechnology**, v.12, n.20, p.2770-2785, 2013.
- MUDOI K.D., SAIKIA S.P., BORTHAKUR M. Effect of nodal positions, seasonal variations, shoot clump and growth regulators on micropropagation of commercially important bamboo, *Bambusa nutans* Wall.ex. Munro. **African Journal of Biotechnology**, v.13, n.19, p. 1961-1972, 2014.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue culture. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.15, p.473-497, 1962.
- NEGI, D.; SAXENA, S. *In vitro* propagation of *Bambusa nutans* Wall. ex Munro through axillary shoot proliferation. **Plant Biotechnology**, v.5, p.35-43, 2011.
- OLIVEIRA, L.M.; PAIVA, R.; SANTANA, J.R.F.; NOGUEIRA, R.C.; SOARES, F.P.; SILVA, L.C. Efeito de citocininas na senescência e abscisão foliar durante o cultivo *in vitro* de *Annona glabra* L. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol.29, n.1, p.25-30, 2007.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; WANNIARACHCHI, W.A.V.R., TENNAKOON, T.M.A. Axillary shoot proliferation and *in vitro* flowering in an adult giant bamboo, *Dendrocalamus giganteus* Wall. Ex Munro. **In vitro cellular & Developmental Biology Plant**, v.37, p.667-671, 2001.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; MEEMADUMA, V.N.; WEERAWARDENE, T.E. *In vitro* shoot proliferation and enhancement of rooting for the large-scale propagation of yellow bamboo (*Bambusa vulgaris* ‘Striata’). **Scientia Horticulturae**, v.110, p.109-113, 2006.
- SAXENA, S.; DHAWAN, V. Commercialization of bamboo tissue culture: potentials and constraints. In: SINGH, H.P.; DADLANI, N.K. (Ed.), ABSTRACTS, VIITH WORLD BAMBOO CONGRESS, 2004, New Delhi, VIIth World Bamboo Congress, India. pp . 101.
- SINGH, S.R.; SINGH, R.; KALIA, S.; DALAL, S.; DHAWAN, A.K.; KALIA, R.K. Limitations, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo — a plant with extraordinary qualities. **Physiology and Molecular Biology Plants**, v.19, n.1, p.21-41, 2013.



Estabelecimento *in vitro* de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl e *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. F.) Backer ex K. Heyne

Gilvano Ebling Brondani⁽¹⁾, Leandro Silva de Oliveira⁽²⁾,
Fernanda Cardoso Furlan⁽³⁾ e Anatólya dos Santos Ribeiro⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Campus Universitário, 37200-000, Caixa Postal 3037, Lavras – MG. E-mail: gebrondani@yahoo.com.br

⁽²⁾ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Avenida Universitária, n.1000, Bairro Universitário, 39404-547, Montes Claros – MG. E-mail: leandroengflor@gmail.com

⁽³⁾ Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Avenida Fernando Corrêa da Costa, n.2367, Boa Esperança, 78060-900, Cuiabá – MT. E-mail: fefurlan_tga@hotmail.com e anatalya_ribeiro@hotmail.com

Resumo – O presente capítulo apresenta e discute metodologias para avaliar o explante e as condições de cultivo mais adequadas para o estabelecimento *in vitro* de segmentos nodais das espécies *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl e *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. F.) Backer ex K. Heyne. Foram avaliados quatro tipos de explantes (segmento nodal) e condições de cultivo: C1 – segmento nodal cultivado por 14 dias no escuro; C2 – segmento nodal cultivado em condições de luminosidade; C3 – segmento nodal com corte longitudinal mantendo a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade e C4 – segmento nodal com corte longitudinal sem a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade. Após a assepsia, os explantes foram inoculados *in vitro* em meio de cultura MS suplementado com 0,004% de cloro ativo (NaOCl) e subcultivados aos 21, 42 e 63 dias. Avaliaram-se a porcentagem de estabelecimento *in vitro*, a oxidação, a manifestação de micro-organismos e a emissão de brotações. Os resultados revelaram decréscimo no estabelecimento de explantes de *B. vulgaris* e *D. asper*, seguido de aumento da oxidação e da manifestação de micro-organismos ao longo dos subcultivos. As brotações axilares dos explantes cresceram e se desenvolveram apenas nos tratamentos C1 e C2, com maior emissão de broto em C2 aos 63 dias, sendo esses os explantes e condições de cultivo mais indicados para o estabelecimento *in vitro* das espécies.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: INTRODUÇÃO, EXPLANTE, CONTAMINAÇÃO, BAMBU.



In vitro establishment of *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl and *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. F.) Backer ex K. Heyne

Abstract – *The aim of the research was to evaluate the most suitable type of explant and culture conditions for in vitro establishment of nodal segments of *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl and *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult. F.) Backer ex K. Heyne. Four different types of explants (i.e., nodal segment) and culture conditions were evaluated: C1 - nodal segment cultivated for 14 days in the dark; C2 - nodal segment cultivated in light conditions; C3 - nodal segment with longitudinal section, containing the axillary bud and cultivated in light conditions and C4 - nodal segment with longitudinal section, without axillary bud and cultivated in light conditions. After the disinfection, the explants were inoculated in vitro on MS culture medium supplemented with 0.004% of active chlorine (NaOCl), and were subcultured at 21, 42 and 63 days. The percentage of in vitro establishment of explants, the oxidation, the manifestation of microorganisms and the shoot induction were evaluated. The results showed a decrease of in vitro establishment of nodal segments, followed by an increase of oxidation and manifestation of microorganisms along the subcultures. Shoots were developed only in C1 and C2 (the largest shoot induction per explant occurred in C2, at 63 days), being these types of explants and cultivation condition the most appropriate for in vitro establishment for both species.*

INDEX TERMS: INTRODUCTION, EXPLANT, CONTAMINATION, BAMBOO.

Introdução

A busca por novas alternativas de matéria-prima de base fibrosa para usos múltiplos está se tornando cada vez mais frequente, principalmente se considerarmos as questões econômicas, sociais e ambientais relacionadas ao rápido crescimento populacional. Dentre as espécies de interesse no setor florestal, destacam-se os bambus, mundialmente reconhecidos devido às inúmeras aplicações. Os usos da planta envolvem desde a produção de papel, celulose, energia, biocombustível e extração de amido até o emprego na construção civil, bioengenharia, fabricação de móveis, artesanatos, produtos farmacêuticos, alimentícios e medicinais (Bag et al., 2000; Souza, 2004; Ostapiv & Fagundes, 2007; Komatsu et al., 2011; Singh et al., 2013).

Os bambus apresentam ramificações complexas, talos lenhosos do tipo colmo, floração monocárpica (isto é, apenas uma floração durante seu ciclo de vida) (Filgueiras & Gonçalves, 2004) e pertencem à família Poaceae (Gramineae), subfamília Bambusoideae (Pereira & Beraldo, 2008; Singh et al., 2013). As espécies de bambus estão distribuídas, principalmente, em países tropicais e subtropicais, sobretudo na Ásia, América do Sul e em algumas regiões no leste da África (Filgueiras & Gonçalves, 2004).

No Brasil, alguns estudos demonstraram a aplicabilidade do cultivo de bambu para a produção de biomassa (Mendes et al., 2010; Neto et al., 2010). Levando em consideração as espécies que apresentam potencialidades para a composição de plantios comerciais (Souza, 2010), o *Bambusa vulgaris* e o *Dendrocalamus asper* apresentam considerável destaque pelo elevado valor econômico, adaptabilidade e rápido crescimento (Pereira & Beraldo, 2008; Pereira & Garbino, 2003; Mendes et al., 2010; Neto et al., 2010; Souza, 2010; Mognon et al., 2015). Porém ainda é necessário aprimorar aspectos técnicos, científicos e econômicos ligados à produtividade, bem como desenvolver biotecnologias visando à produção de mudas em quantidade e qualidade adequadas para suprir a demanda do mercado nacional.

A produção de mudas das espécies de bambus por via seminal (a partir de sementes originadas em plantações voltadas para esse fim) é muito limitada, principalmente por as sementes serem raras devido ao imprevisível e longo ciclo de florescimento, que pode ocorrer aos 10, 50, 100 anos ou mais (Ramanayake et al., 2001; Vengala et al., 2008). Além disso, o processo pode resultar na mortalidade da planta devido ao gasto excessivo das reservas energéticas para a produção das flores e sementes (Arya et al., 1999; Ramanayake et al., 2001). Devido a essa característica, diferentes técnicas de propagação são adotadas para a produção de mudas de bambus, as quais são consideradas excelentes ferramentas para a clonagem de genótipos selecionados, independentemente do seu florescimento (Arya et al., 1999; Islam et al., 2011). Dentre essas técnicas, a micropropagação, que consiste na produção de clones de uma planta a partir de uma única célula vegetal somática, órgão ou de um pequeno pedaço de tecido vegetal (explante), tem obtido relevância nos últimos anos.

No entanto, embora existam vários trabalhos voltados à cultura *in vitro* de variedades de bambus (Arya et al., 1999; Bag et al., 2000; Ramanayake et al., 2001; Arya et al., 2002; Sood et al., 2002; Ramanayake & Wanniarachchi, 2003; Singh et al., 2003; Lin et al., 2004; Singh et al., 2004; Das & Pal, 2005; Jiménez et al., 2006; Ramanayake et al., 2006; Komatsu et al., 2011), a técnica de micropropagação aplicada a essas espécies apresenta, frequentemente, elevadas taxas de contaminação por micro-organismos (principalmente bactérias e

fungos) durante a fase de estabelecimento *in vitro*, o que dificulta avanços no campo da biotecnologia.

As contaminações por micro-organismos durante essa etapa podem ser resultantes de diversos fatores, tais como o estado nutricional e fitopatológico da planta doadora de propágulos (Brondani et al., 2011; Brondani et al., 2012; Brondani et al., 2013; Oliveira et al., 2015), tipo e origem de explante utilizado para a inoculação (Brondani et al., 2009), presença de micro-organismos endofíticos (tais como os que vivem em simbiose com a planta) (Komatsu et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Baccarin et al., 2015), a manipulação do operador (Dutra et al., 2009), dentre outros. Inúmeros protocolos de desinfestação de tecidos têm sido desenvolvidos para evitar tais problemas e aumentar a porcentagem de estabelecimento *in vitro* de diversos tipos de propágulos (Brondani et al., 2009; Dutra et al., 2009; Brondani et al., 2010; Brondani et al., 2013). Contudo, esses procedimentos nem sempre são aplicáveis para todas as espécies. O emprego de antibióticos também é uma prática adotada, sendo frequente no cultivo *in vitro* de espécies de bambus (Yasodha et al., 2008; Mudoj & Borthakur, 2009; Nadha et al., 2012; Singh et al., 2012; Brar et al., 2013; Mudoj et al., 2014). Contudo, sua adoção aumenta demasiadamente os custos de produção (Tambarussi et al., 2015). Uma alternativa para a obtenção de explantes estabelecidos *in vitro* é a esterilização química do meio de cultura, que apresenta resultados satisfatórios para a cultura de *Eucalyptus* (Brondani et al., 2013) e pode ser testada para espécies de bambus.

Aliado a práticas de desinfestação de explantes, o estudo prévio dos tecidos meristemáticos a partir da análise anatômica (Almeida et al., 2015) também auxilia na tomada de decisões sobre o método mais adequado para o preparo do explante. A análise é útil para determinar tanto a posição dos tecidos a serem excisados, quanto o tipo de meristema a ser cultivado, fatores que podem ser decisivos para o sucesso das demais fases da micropropagação das espécies de bambus.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o tipo de explante e as condições de cultivo mais adequados para o estabelecimento *in vitro* de segmentos nodais de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*.

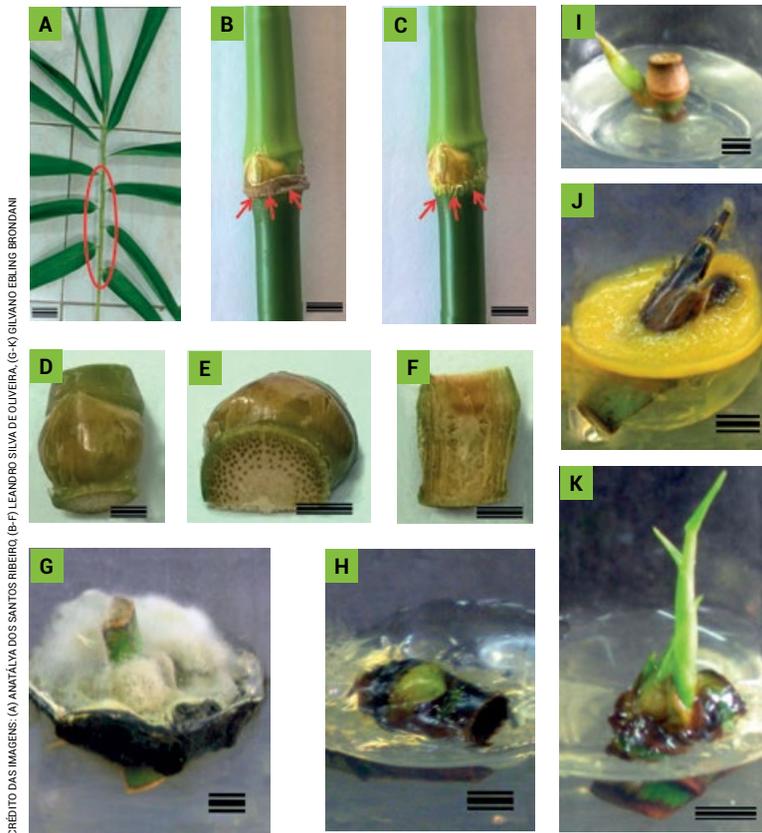
Material e métodos

ORIGEM DO MATERIAL VEGETAL E PRÉ-ASSEPSIA - Ramos laterais (10 a 20 cm de comprimento) contendo gemas dormentes da porção mediana (propágulos, figura 1a) foram coletados (maio de 2014) de plantas de *Bambusa vulgaris*

e *Dendrocalamus asper* com aproximadamente sete anos de idade e plantadas no campo em Piracicaba (SP). Os ramos foram transportados até o Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá (MT). Em condições de laboratório, foram extraídas as bainhas foliares próximas às gemas axilares (figura 1b). Os ramos foram imersos em água destilada com detergente líquido. Nessa etapa, fez-se a raspagem prévia da região adjacente às gemas axilares, onde a bainha foliar se encontrava aderida ao colmo (figura 1c). Após a lavagem com esponja na região das gemas axilares, segmentos nodais de 1 a 2 cm de comprimento foram seccionados e imersos em água destilada para o enxágue final.

ASSEPSIA E INOCULAÇÃO DOS EXPLANTES - Os explantes foram imersos em solução de álcool 70% durante um minuto e enxaguados com água destilada e autoclavada. Posteriormente, os mesmos foram imersos em solução a 2,0-2,5% (v/v) de cloro ativo (NaClO) acrescida de Tween 20 (0,05%, v/v) durante 20 minutos. Em seguida, foram realizados cinco enxágues com água destilada e autoclavada. Ao final da assepsia, os explantes foram inoculados em tubos de ensaio contendo 5 mL do meio de cultura MS (Murashige & Skoog, 1962) suplementado com 0,004% de cloro ativo (NaOCI). Aos 21 e 42 dias após a inoculação, foram realizados subcultivos para o mesmo meio de cultura descrito anteriormente, desta vez suplementado com 1,0 mg L⁻¹ de benzilaminopurina (BAP).

TRATAMENTOS E VARIÁVEIS MENSURADAS - Os segmentos nodais de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper* foram padronizados e submetidos a quatro condições de cultivo: C1 – segmento nodal cultivado por 14 dias no escuro (após 14 dias, os segmentos nodais foram cultivados em condições de luminosidade); C2 – segmento nodal cultivado em condições de luminosidade; C3 – segmento nodal com corte longitudinal mantendo a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade e C4 – segmento nodal com corte longitudinal sem a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade (figura 1d-f). As condições de luminosidade referem-se àquelas dentro da sala de crescimento. Os segmentos nodais foram subcultivados a cada 21 dias para um novo meio de cultura durante 63 dias. Aos 21, 42 e 63 dias, avaliaram-se o estabelecimento de explantes (ausência de manifestação bacteriana e/ou fúngica – EST), manifestação de micro-organismos (bacteriana e/ou fúngica – MMO) (figura 1g-h), oxidação (OXI) (figura 1i) e explantes que emitiram brotos (EB) (figura 1j-k). O experimento foi conduzido no delineamento in-



CRÉDITO DAS IMAGENS: (A) ANATÁLIA DOS SANTOS RIBEIRO, (B-F) LEANDRO SILVA DE OLIVEIRA, (G-K) GILVANO ERLING BRONDANI

Figura 1. Estabelecimento *in vitro* de segmentos nodais de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*. (A) Detalhe de ramo lateral de *D. asper* com destaque da região utilizada para a obtenção dos segmentos nodais (elipse vermelha). Barra = 5,0 cm. (B) Segmento nodal de *B. vulgaris* evidenciando a região da gema e apresentando resquícios da bainha foliar (setas vermelhas). Barra = 1,0 cm. (C) Segmento nodal de *B. vulgaris* evidenciando a raspagem prévia da região adjacente à gema onde a bainha foliar se encontrava aderida ao colmo (setas vermelhas). Barra = 1,0 cm. (D) Segmento nodal de *B. vulgaris* utilizado como explante e contendo a gema. Barra = 0,5 cm. (E) Segmento nodal de *B. vulgaris* com corte longitudinal e mantendo a gema. Barra = 0,5 cm. (F) Segmento nodal de *B. vulgaris* com corte longitudinal sem a gema. Barra = 0,5 cm. (G) Manifestação fúngica no estabelecimento *in vitro* de explante de *B. vulgaris* aos 21 dias. Barra = 1,0 cm. (H) Manifestação bacteriana no estabelecimento *in vitro* de explante de *B. vulgaris* aos 21 dias. Barra = 1,0 cm. (I) Explante oxidado no estabelecimento *in vitro* de *B. vulgaris* aos 21 dias. Barra = 1,0 cm. (J) Estabelecimento *in vitro* de explante de *D. asper* emitindo broto aos 42 dias. Barra = 1,0 cm. (K) Estabelecimento *in vitro* de explante de *B. vulgaris* emitindo broto aos 42 dias. Barra = 1,0 cm

teiramente casualizado em arranjo fatorial (4x3), com os fatores constituídos por quatro formas de preparo de explantes e condições de cultivo (C1, C2, C3 e C4) e três subcultivos (21, 42 e 63 dias). Para tanto, foram utilizadas três repetições, considerando 10 explantes por repetição. As espécies não foram consideradas como fatores, sendo analisadas isoladamente.

PREPARO DO MEIO DE CULTURA E CONDIÇÕES *IN VITRO* - O meio de cultura foi preparado com água destilada, adicionando-se 7 g L⁻¹ de ágar e 30 g L⁻¹ de sacarose. O valor do pH foi ajustado para 5,8 com HCl (0,1 M) e/ou NaOH (0,1 M) antes da adição do ágar ao meio nutritivo. Em seguida, procedeu-se a autoclavagem para eliminação de micro-organismos com temperatura de 121 °C (≈1,0 kgf cm⁻²) durante 20 minutos. As culturas foram mantidas em sala de crescimento com temperatura controlada a 24 °C (± 1 °C), fotoperíodo de 16 horas e luminosidade de 32 μmol m⁻² s⁻¹.

ANÁLISE HISTOLÓGICA - As amostras (brotações axilares de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*) foram fixadas em solução de formaldeído e glutaraldeído modificado (glutaraldeído 1%; paraformaldeído 4% em tampão fosfato de sódio - NaH₂PO₄.H₂O à 0,1 M; pH 7,2) (Karnovsky, 1965). Na sequência, foram submetidas a seis séries de vácuo (-600 mmHg) por 30 minutos cada. Posteriormente, as amostras foram armazenadas durante 30 dias a 4 °C. Em seguida, foram desidratadas por meio de série alcoólica-etílica em concentrações crescentes (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100%, v/v), permanecendo em cada solução por 15 minutos. Após imersão em meio de infiltração (Historessina, Leica) durante 24 horas, foram alocadas na porção inferior do recipiente de moldura. Na etapa seguinte, as amostras foram emblocadas em Historessina (hidroxietil metacrilato, Leica) com endurecedor conforme recomendação do fabricante, onde permaneceram durante 28 dias à temperatura de 24 °C. Os blocos contendo as amostras foram seccionados longitudinalmente a 10 μm de espessura com o uso de micrótomo rotativo automático Microm HM 355S (Thermo Scientific). Os cortes obtidos foram corados com azul de toluidina (0,05%, v/v) em tampão fosfato de sódio e ácido cítrico (Sakai, 1973) durante 20 minutos e montados em lâminas histológicas com resina sintética (Entellan). As lâminas histológicas foram analisadas e fotomicrografadas em microscópio de luz (Opton), com imagens capturadas em escala micrométrica.

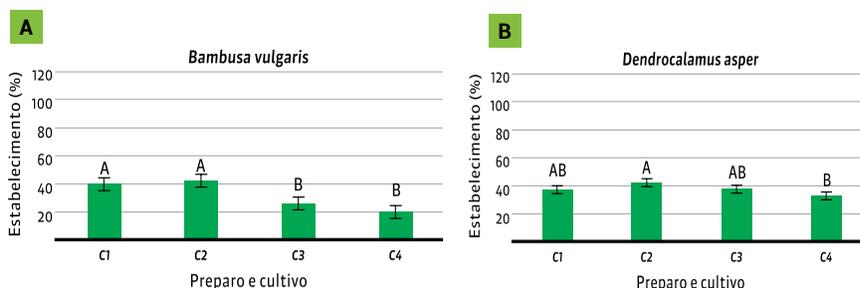
ANÁLISE ESTATÍSTICA - Os dados mensurados foram submetidos ao teste de Hartley (P<0,05) e Shapiro-Wilk (P<0,05), a fim de verificar a homogenei-

dade de variância entre os tratamentos e a distribuição normal dos dados, respectivamente. Os dados foram transformados conforme a necessidade por meio do teste Box-Cox. Em seguida, foi realizada análise de variância (ANOVA, $P < 0,05$ e $P < 0,01$). De acordo com a significância da ANOVA, os dados foram comparados pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Os pacotes SOC (EMBRAPA, 1990) e R (R Development Core Team, 2012) foram utilizados para a análise estatística dos dados. As lâminas histológicas foram caracterizadas por análise descritiva.

Resultados e discussão

Tanto para *Bambusa vulgaris* quanto para *Dendrocalamus asper*, verificou-se influência significativa do número de subcultivos para a porcentagem de estabelecimento de explantes (EST), porcentagem de explantes oxidados (OXI) e porcentagem de explantes que apresentaram manifestação de micro-organismos (MMO). Os tipos de preparo e condições de cultivo influenciaram apenas a porcentagem de explantes estabelecidos (EST). Também foi constatada interação do número de subcultivos com o tipo de preparo do explante e condição de cultivo em relação à porcentagem de explantes que emitiram brotações (EB).

Para *Bambusa vulgaris*, o maior valor da EST foi observado em C1 (segmento nodal mantido por 14 dias no escuro), resultando em 40,5%, e C2 (segmento nodal mantido em condições de luminosidade), com 42,0%. Ambos não apresentaram diferença significativa (figura 2a). Para *Dendrocalamus asper*, o valor da EST não diferiu significativamente entre C1, C2 e C3 (segmento nodal com corte longitudinal mantendo a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade), que apresentaram, respectivamente, valores de 37,3%; 42,7% e 37,5% (figura 2b).



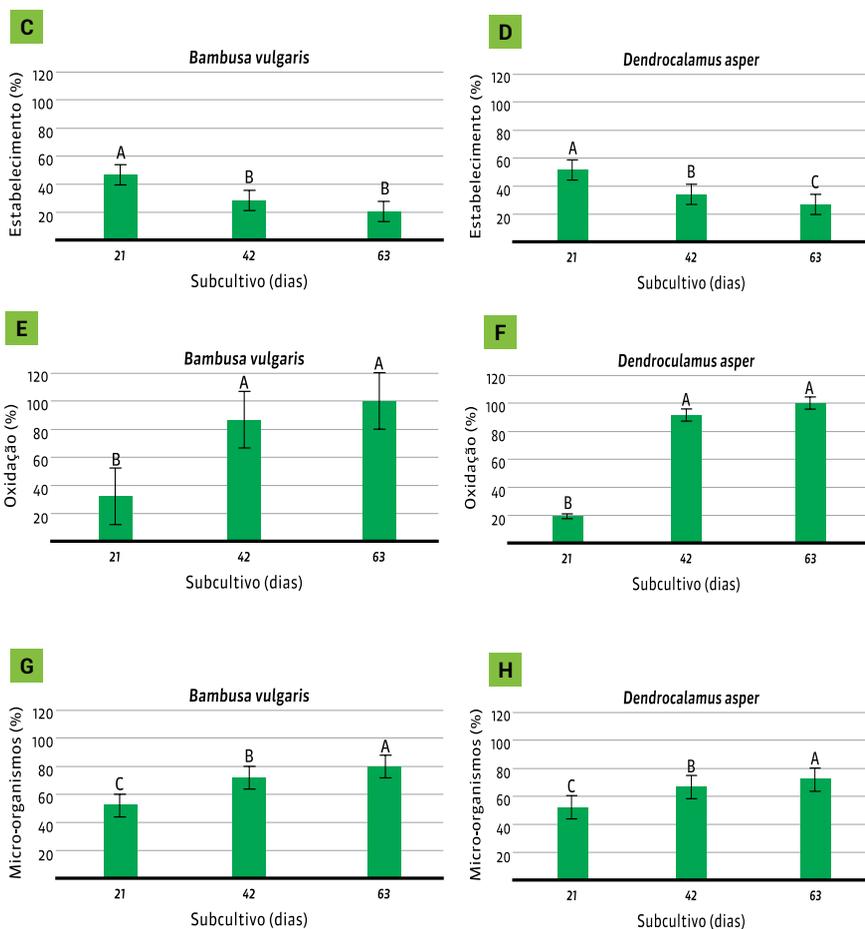


Figura 2. Características mensuradas durante o cultivo *in vitro* de segmentos nodais de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*.

(A-B) Porcentagem de estabelecimento *in vitro* de explantes em relação aos tipos de preparo e condições de cultivo. (C-D) Porcentagem de estabelecimento *in vitro* de explantes em relação aos subcultivos. (E-F) Porcentagem de oxidação de explantes em relação aos subcultivos. (G-H) Porcentagem de manifestação de micro-organismos (bacteriana e/ou fúngica) de explantes em relação aos subcultivos. Preparo e cultivo: C1 - segmento nodal cultivado por 14 dias no escuro (após 14 dias, os segmentos nodais foram cultivados em condições de luminosidade); C2 - segmento nodal cultivado em condições de luminosidade; C3 - segmento nodal com corte longitudinal mantendo a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade C4 - segmento nodal com corte longitudinal sem a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade. Valores médios seguidos por mesma letra não diferem significativamente à 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey. Dados apresentados com média \pm erro padrão

Contudo, conforme foram realizados os subcultivos dos explantes para novos meios de cultura, observou-se decréscimo do EST (figura 2c-d), seguido de aumento da oxidação dos explantes (figura 2e-f) e da manifestação de micro-organismos (figura 2g-h). Aos 63 dias de subcultivo, 20,6% dos explantes de *Bambusa vulgaris* (figura 2c) e 27,2% dos explantes de *Dendrocalamus asper* (figura 2d) apresentaram-se estabelecidos, denotando expressiva perda de material durante o período considerado. Além disso, os maiores valores da OXI (100%) (figura 2e-f) e da manifestação de micro-organismos (72,8 a 79,4%) (figura 2g-h) também foram observados aos 63 dias. Apesar da frequente oxidação (geralmente observada na base do segmento nodal), algumas gemas apresentaram viabilidade para a emissão de brotos.

Na cultura de tecidos de plantas, a contaminação pode ser um fator limitante para o estabelecimento *in vitro*, interferindo negativamente em relação à propagação de clones previamente selecionados (Barrueto Cid & Teixeira, 2010; Hartmann et al., 2011). As espécies de bambus possuem organismos fitopatogênicos endógenos (Singh et al., 2013) que proliferam no meio de cultura após os explantes serem seccionados, uma vez que o corte do tecido aumenta o processo de liberação de exudados ao meio de cultura. Esses micro-organismos passam a competir por nutrientes e outros compostos energéticos com o explante, fato que prejudica o crescimento e desenvolvimento dos tecidos inoculados *in vitro*, podendo ocasionar até a sua mortalidade.

O processo de oxidação também pode ser prejudicial às culturas, pois ocasiona necrose dos tecidos e a liberação de compostos fenólicos ao meio de cultura (Grattapaglia & Machado, 1998), aumentando a perda de material estabelecido. Estudo realizado por Soto et al. (2001) mostrou que a oxidação dos tecidos influenciou o estabelecimento *in vitro* de *Bambusa vulgaris*. Algumas metodologias podem ser adotadas para reduzir o efeito da oxidação, tais como o subcultivo frequente dos explantes em curto intervalo de tempo (Hartmann et al., 2011) e a suplementação de substâncias antioxidantes e de carvão ao meio de cultivo (Singh et al., 2013). Considerando a constatação de elevados índices de oxidação no presente estudo, torna-se importante conduzir novas pesquisas para reduzir a frequência desse evento.

Houve emissão de brotações axilares nos preparos e condições de cultivo C1 e C2 para *Bambusa vulgaris* (figura 1k e tabela 1) e para *Dendrocalamus asper* (figura 1j e tabela 2). Em termos gerais, C2 foi o melhor tipo de preparo e condição de cultivo para ambas as espécies, considerando a maior emissão de brotos aos 63 dias (tabelas 1 e 2). Os preparos e condições de cultivo C3 e C4 não emitiram brotação, portanto não é aconselhado o seu emprego para o estabelecimento *in vitro* das espécies avaliadas de acordo com as condições

experimentais. O fato mostra que os segmentos nodais com cortes longitudinais (para aumentar a superfície de contato do tecido com o meio de cultura) não foram viáveis para a inoculação *in vitro*. Partiu-se do pressuposto de que quanto menor o tamanho do explante, maior será a probabilidade de o tecido apresentar-se livre de patógenos (e, assim, aumentar o estabelecimento *in vitro* de explantes). Entretanto, a estratégia de redução do tamanho do explante a partir do corte longitudinal não diminuiu a manifestação de micro-organismos durante os 63 dias de cultivo *in vitro*, independentemente da espécie avaliada. A capacidade de desenvolvimento do explante tornou-se limitada ou até mesmo sem indução de brotações (tabelas 1 e 2), fato que também foi destacado por Grattapaglia & Machado (1998) em revisão com outras espécies.

Tabela 1. Porcentagem de explantes de *Bambusa vulgaris* que emitiram brotações axilares em relação aos tipos de preparo, condições de cultivo e subcultivos

Preparo e condição de cultivo	Subcultivos (dias)		
	21	42	63
C1	0,0 ($\pm 0,0$)Aa	0,0 ($\pm 0,0$)Ba	7,7 ($\pm 0,1$)Ba
C2	0,0 ($\pm 0,0$)Ac	25,5 ($\pm 1,3$)Ab	42,2 ($\pm 0,6$)Aa
C3	0,0 ($\pm 0,0$)Aa	0,0 ($\pm 0,0$)Ba	0,0 ($\pm 0,0$)Ca
C4	0,0 ($\pm 0,0$)Aa	0,0 ($\pm 0,0$)Ba	0,0 ($\pm 0,0$)Ca

Nas colunas, valores médios seguidos por mesma letra maiúscula e, nas linhas, valores médios seguidos por mesma letra minúscula não diferem significativamente à 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey. C1 - segmento nodal cultivado por 14 dias no escuro (após 14 dias, os segmentos nodais foram cultivados em condições de luminosidade); C2 - segmento nodal cultivado em condições de luminosidade; C3 - segmento nodal com corte longitudinal mantendo a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade e C4 - segmento nodal com corte longitudinal sem a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade. Dados apresentados com média (\pm erro padrão).

Tabela 2. Porcentagem de explantes de *Dendrocalamus asper* que emitiram brotações axilares em relação aos tipos de preparo, condições de cultivo e subcultivos

Preparo e condição de cultivo	Subcultivos (dias)		
	21	42	63
C1	0,0 ($\pm 0,0$)Ac	4,8 ($\pm 0,7$)Bb	14,3 ($\pm 0,2$)Ba
C2	0,0 ($\pm 0,0$)Ac	18,8 ($\pm 2,8$)Ab	46,7 ($\pm 0,2$)Aa
C3	0,0 ($\pm 0,0$)Aa	0,0 ($\pm 0,0$)Ca	0,0 ($\pm 0,0$)Ca
C4	0,0 ($\pm 0,0$)Aa	0,0 ($\pm 0,0$)Ca	0,0 ($\pm 0,0$)Ca

Nas colunas, valores médios seguidos por mesma letra maiúscula e, nas linhas, valores médios seguidos por mesma letra minúscula não diferem significativamente à 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey. C1 - segmento nodal cultivado por 14 dias no escuro (após 14 dias, os segmentos nodais foram cultivados em condições de luminosidade); C2 - segmento nodal cultivado em condições de luminosidade; C3 - segmento nodal com corte longitudinal mantendo a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade e C4 - segmento nodal com corte longitudinal sem a gema axilar e cultivado em condições de luminosidade. Dados apresentados com média (\pm erro padrão).

Na definição de um tipo de preparo e condição de cultivo inicial de um explante sob condições *in vitro*, deve-se levar em consideração o nível de diferenciação do tecido, sua determinação e a finalidade da micropropagação (Hartmann et al., 2011; Almeida et al., 2015). A seleção de explantes de espécies de bambus deve preconizar a utilização de tecidos que apresentem potencial meristemático (com grande capacidade de reprodução e de diferenciação em outros tipos de tecido vegetal), tais como gemas axilares (Gratapaglia & Machado, 1998). Pela análise dos cortes histológicos, pôde-se observar que existem inúmeros centros meristemáticos junto às gemas axilares (figura 3a-b), o que denota potencialidade para a emissão de novas brotações a partir desses tecidos.

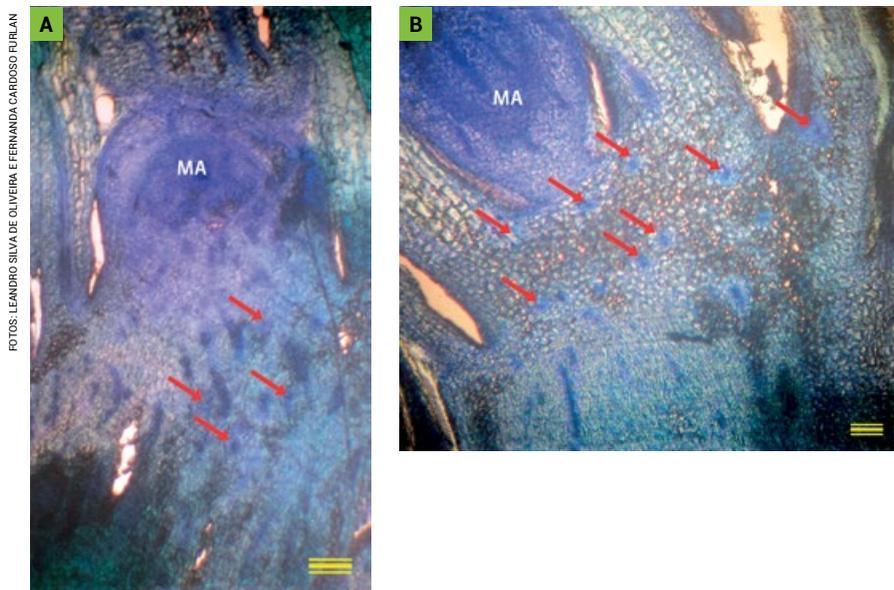


Figura 3. Análise histológica das brotações axilares de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*. (A) Corte longitudinal da brotação axilar de *D. asper*, aos 63 dias após o estabelecimento *in vitro*. MA - meristema apical. Setas vermelhas evidenciam a presença de centros meristemáticos. Barra = 200 µm. (B) Corte longitudinal da gema apical de *B. vulgaris* localizada no segmento nodal padronizado para o estabelecimento *in vitro*, aos 63 dias de cultivo. Barra = 200 µm

O uso de segmentos nodais contendo gemas axilares tem sido frequentemente aplicado como explante para o cultivo *in vitro* de diferentes espécies de bambus (Ramanayake et al., 1995; Ramanayake & Yakandawala, 1997; Jiménez et al., 2006; Lemos et al., 2011; Singh et al., 2012; Singh et al., 2013). Contudo, a

manifestação de micro-organismos e a oxidação dos tecidos ainda necessitam ser melhor entendidos e efetivamente controlados para que se obtenha sucesso nas demais fases da micropropagação, preferencialmente sem o uso de agentes químicos, como os antibióticos e produtos a base de mercúrio.

Conclusões

No decorrer dos três subcultivos realizados, houve decréscimo do estabelecimento *in vitro* dos explantes de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*, seguido de aumento da oxidação dos tecidos e da manifestação de micro-organismos.

As brotações axilares dos explantes de *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper* cresceram e se desenvolveram apenas nos preparos e condições de cultivo C1 (segmento nodal cultivado por 14 dias no escuro) e C2 (segmento nodal cultivado em condições de luminosidade). Dessa forma, esses explantes são recomendados para o estabelecimento *in vitro*.

O preparo e condição de cultivo C2 proporcionou a maior emissão de brotações axilares nos explantes de ambas as espécies, aos 63 dias após a inoculação.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – Chamada Universal 14/2013 – Processo 471370/2013-4 e Bolsa de Mestrado) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes – Bolsa PNPd e Bolsa de Mestrado), pelo apoio financeiro. Ao Dr. Enio Tiago de Oliveira e ao Laboratório de Bioquímica e Micropropagação de Plantas (Esalq/USP), pela disponibilização dos materiais genéticos.

Referências

- ALMEIDA, M.; GRANER, E.M.; BRONDANI, G.E.; OLIVEIRA, L.S.; ARTIOLI, F.A.; ALMEIDA, L.V.; LEONE, G.F.; BAGGARIN, F.J.B.; ANTONELLI, P.O.; CORDEIRO, G.M.; OBERSCHELP, G.P.J.; BATAGIN-PIOTTO, K.D. **Plant morphogenesis: theoretical bases**. Advances in Forestry Science, v.2, n.1, p.13-22, 2015.
- ARYA, S.; SHARMA, S.; KAUR, R.; ARYA, I.D. Micropropagation of *Dendrocalamus asper* by shoot proliferation using seeds. **Plant Cell Reports**, v.18, n.10, p.879-882, 1999.

- ARYA, I.D.; SATSANNGI, R.; ARYA, S. Rapid micropropagation of edible bamboo *Dendrocalamus asper*. **Journal of Sustainable Forestry**, v.14, n.2/3, p.103-114, 2002.
- BACCARIN, F.J.B.; BRONDANI, G.E.; ALMEIDA, L.V.; VIEIRA, I.G.; OLIVEIRA, L.S.; ALMEIDA, M. Vegetative rescue and cloning of *Eucalyptus benthamii* selected adult trees. **New Forests**, v.46, n.4, p.465-483, 2015.
- BAG, N.; CHANDRA, S.; PALNI, L.S.M.; NANDI, S.K. Micropropagation of dev-ringal [*Thamnochlamus spathiflorus* (Trin.) Munro] – a temperate bamboo, and comparison between *in vitro* propagated plants and seedlings. **Plant Science**, v.156, n.2, p.125-135, 2000.
- BARRUETO CID, L.P.; TEIXEIRA, J.B. Oxidação fenólica, vitrificação e variação somaclonal. In: BARRUETO CID, L.P. (Ed.). **Cultivo in vitro de plantas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. p.51-66.
- BRAR, J.; ANAND, M.; SOOD, A. *In vitro* seed germination of economically important edible bamboo *Dendrocalamus membranaceus* Munro. **Indian Journal of Experimental Biology**, v.51, p.88-96, 2013.
- BRONDANI, G.E.; DUTRA, L.F.; GROSSI, F.; WENDLING, I.; HORNIG, J. Estabelecimento, multiplicação e alongamento *in vitro* de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage × *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.11-19, 2009.
- BRONDANI, G.E.; HANSEL, F.A.; DUTRA, L.F.; WENDLING, I. Desinfestação e meio de cultura para o estabelecimento *in vitro* de segmentos nodais de *Liquidambar styraciflua*. **Floresta**, v.40, n.3, p.541-554, 2010.
- BRONDANI, G.E.; DUTRA, L.F.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; HANSEL, F.A.; ARAUJO, M.A. Micropropagation of an *Eucalyptus* hybrid (*Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.4, p.655-663, 2011.
- BRONDANI, G.E.; ONDAS, H.W.W.; BACCARIN, F.J.B.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M. Micropropagation of *Eucalyptus benthamii* to form a clonal micro-garden. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v.48, n.5, p.478-487, 2012.
- BRONDANI, G.E.; OLIVEIRA, L.S.; BERGONCI, T.; BRONDANI, A.E.; FRANÇA, F.A.M.; SILVA, A.L.L.; GONÇALVES, A.N. Chemical sterilization of culture medium: a low cost alternative to *in vitro* establishment of plants. **Scientia Forestalis**, v.41, n.98, p.257-264, 2013.
- DAS, M.; PAL, A. *In vitro* regeneration of *Bambusa balcooa* Roxb.: factors affecting changes of morphogenetic competence in the axillary buds. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.81, n.1, p.109-112, 2005.
- DUTRA, L.F.; WENDLING, I.; BRONDANI, G.E. A micropropagação de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.58, p.49-59, 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Programa SOC – software científico: versão 2.1**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1990.
- FILGUEIRAS, T.S.; GONÇALVES A.P.S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (POACEAE). **Bamboo Science & Culture**, v.18, n.1, p.7-18, 2004.
- GRATTAPAGLIA, D.; MACHADO, M.A. Micropropagação. In: TORRES, A.C.; CALDAS, L.S.; BUSO, J.A. (Eds.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa-SPI, Embrapa-CNPq, 1998. p.183-260.
- HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JR, F.T.; GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2011. 915p.
- ISLAM, M.S.; BHUIYAN, M.K.; HOSSAIN, M.M.; HOSSAIN, M.A. Clonal propagation of *Bambusa vulgaris* by leafy branch cuttings. **Journal of Forestry Research**, v.22, n.3, p.387-392, 2011.

- JIMÉNEZ, V.M.; CASTILHO, J.; TAVARES, E.; GUEVARA, E.; MONTIEL, M. *In vitro* propagation of the neotropical giant bamboo, *Guadua angustifolia* Kunth, through axillary shoot proliferation. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.86, n.3, p.389-395, 2006.
- KARNOVSKY, M.J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v.27, p.137-138, 1965.
- KOMATSU, Y.H.; BATAGIN-PIOTTO, K.D.; BRONDANI, G.E.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M.A. *In vitro* morphogenic response of leaf sheath of *Phyllostachys bambusoides*. **Journal of Forestry Research**, v.22, n.2, p.209-215, 2011.
- LEMOES, E.E.P.; FONSECA, F.K.P.; OLIVEIRA, J.F.; LEÃO, I.B.; REZENDE, L.P.; SOUZA, C.D.; FILGUEIRAS, T.S.; FERREIRA, M.O. Inovações tecnológicas para a propagação de espécies de bambu. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU, 1., 2011. Brasília. **Anais**. Brasília: Universidade de Brasília (UnB), 2011. p.56-61.
- LIN, C.S.; LIN, C.C.; CHANG, W.C. Effect of thidiazuron on vegetative tissue-derived somatic embryogenesis and flowering of bamboo *Bambusa edulis*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.76, n.1, p.75-82, 2004.
- MENDES, S.C.; MOLICA, S.G.; FERREIRA, R.L.C.; CÉSPEDES, G.H.G. Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no Nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v.34, n.6, p.991-999, 2010.
- MOGNON, F.; RODRIGUES, A.L.; SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; NOVAES, A.B.; BLUM, C.T. Alocação e modelagem da biomassa em *Dendrocalamus asper*. **Floresta**, v.45, n.1, p.1-10, 2015.
- MUDOI, K. D.; BORTHAKUR, M. *In vitro* micropropagation of *Bambusa balcooa* Roxb. through nodal explants from field-grown culms and scope for upscaling. **Current Science**, v.96, n.7, p.962-966, 2009.
- MUDOI, K.D.; SAIKIA, S.P.; BORTHAKUR, M. Effect of nodal positions, seasonal variations, shoot clump and growth regulators on micropropagation of commercially important bamboo, *Bambusa nutans* Wall.ex. Munro. **African Journal of Biotechnology**, v.13, n.19, p.1961-1972, 2014.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v.15, n.3, p.473-497, 1962.
- NADHA, H.K.; SALWAN, R.; KASANA, R.C.; ANAND, M.; SOOD, A. Identification and elimination of bacterial contamination during *in vitro* propagation of *Guadua angustifolia* Kunth. **Pharmacognosy Magazine**, v.8, n.30, p. 93-97, 2012.
- NETO, M.C.L.; NETO, E.B.; BARRETO, L.P.; SILVA, J.A.A. Exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.251-257, 2010.
- OLIVEIRA, L.S.; DIAS, P.C.; BRONDANI, G.E. Micropropagação de espécies florestais brasileiras. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.33, n.76, p.445-460, 2013.
- OLIVEIRA, L.S.; BRONDANI, G.E.; BATAGIN-PIOTTO, K.D.; CALSAVARA, R.; GONÇALVES, A.N.; ALMEIDA, M. Micropropagation of *Eucalyptus cloeziana* mature trees. **Australian Forestry**, v.78, n.4, p.219-231, 2015.
- OSTAPIV, F.; FAGUNDES, E.D. Perspectivas para o desenvolvimento da cultura e da cadeia produtiva do bambu no Paraná, tendo como referência a inovação, a educação tecnológica e o modelo produtivo chinês. **Revista Científica de Educação**, v.9, n.9, p.41-53, 2007.

- PEREIRA, M.A.R.; GARBINO, L.V. Desenvolvimento e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na UNESP/Campus de Bauru - S.P, com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais**. Goiânia: CONBEA, 2003. Um CD-ROM.
- PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6 Editora, 2008. 240p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **An introduction to R. Notes on R: a programming environment for data analysis and graphics**. Version 2.15.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-12-7, 2012. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em 25 jun. 2014.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; YAKANDAWALA, K.; NILMINI DEEPIKA, P.K.D.; IKBAL, M.C.M. Studies on micropropagation of *Dendrocalamus giganteus* and *Bambusa vulgaris* var. *striata*. In: INTERNATIONAL BAMBOO WORKSHOP, 5., INTERNATIONAL BAMBOO CONGRESS, 4., 1995. Ubud. **Proceedings**. Ubud: Thomson Press (India) Ltd., International Development Research Centre, 1995. p.75-85.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; YAKANDAWALA, K. Micropropagation of the giant bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Munro) from nodal explants of field grown culms. **Plant Science**, v.129, n.2, p.213-223, 1997.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; WANNIARACHCHI, W.A.V.R.; TENNAKOON, T.M.A. Axillary shoot proliferation and *in vitro* flowering in an adult giant bamboo *Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v.37, n.5, p.667-671, 2001.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; WANNIARACHCHI, W.A.V.R. Organogenesis in callus derived from an adult giant bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro). **Scientia Horticulturae**, v.98, n.2, p.195-200, 2003.
- RAMANAYAKE, S.M.S.D.; MEEEMADUMA, V.N.; WBERAWARDENE, T.E. *In vitro* shoot proliferation and enhancement of rooting for the large-scale propagation of yellow bamboo (*Bambusa vulgaris* ‘Striata’). **Scientia Horticulturae**, v.110, n.1, p.109-113, 2006.
- SAKAI, W.S. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue O. **Biotechnic and Histochemistry**, v.48, n.5, p.247-249, 1973.
- SINGH, M.; JAISWAL, U.; JAISWAL, V.S. *In vitro* selection of NaCl-tolerant callus lines and regeneration of plantlets in a bamboo (*Dendrocalamus strictus* Nees). **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v.39, n.2, p.229-233, 2003.
- SINGH, S.; KUMAR, P.; ANSARI, S.A. A simple method for large-scale propagation of *Dendrocalamus asper*. **Scientia Horticulturae**, v.100, n.1/4, p.251-255, 2004.
- SINGH, S.R.; DALAL, S.; SINGH, R.; DHAWAN, A.K.; KALIA, R.K. Micropropagation of *Dendrocalamus asper* {Schult. & Schult. F.} Backer ex k. Heyne): an exotic edible bamboo. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v.21, n.2, p.220-228, 2012.
- SINGH, S.R.; SINGH, R.; KALIA, S.; DALAL, S.; DHAWAN, A.K.; KALIA, R.K. Limitations, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo – a plant with extraordinary qualities. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.19, n.1, p.21-41, 2013.
- SOOD, A.; AHUJA, P.S.; SHARMA, M.; SHARMA, O.P.; GODBOLE, S. *In vitro* protocols and field performance of elites of an important bamboo *Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. ex Munro. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.71, n.1, p.55-63, 2002.
- SOTO, A.H.; ARIAS, A.G.; GUERRERO, M. **Establecimiento *in vitro* de *Bambusa vulgaris* (Bambú amarillo)**. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Centro de Investigación en Biotecnología, 2001. 24p.

- SOUZA, A.P.C.C. Bambu na habitação de interesse social no Brasil. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v.11, n.12, p.217-245, 2004.
- SOUZA, E.B. **Estudo da viabilidade técnica para o cultivo de bambu gigante (Dendrocalamus giganteus) em Planaltina-DF**. Planaltina: Faculdades Integradas – UPIS, 2010. 89p. (Boletim Técnico).
- TAMBARUSSI, E.V.; ROGALSKI, M.; NOGUEIRA, F.T.S.; BRONDANI, G.E.; MARTIN, V.F.; CARRER, H. Influence of antibiotics on indirect organogenesis of Teak. **Annals of Forest Research**, v.58, n.1, p.177-183, 2015.
- VENGALA, J.; JAGADEESH, H.N.; PANDEY, C.N. Development of bamboo structure in Índia. In: XIAO, Y.; INOUE, M.; PAUDEL, S.K. (Eds.). **Modern bamboo structures**. London: Taylor & Francis Group, 2008. p.51-63.
- YASODHA, R.; KAMALA, S.; ANAND KUMAR, S. P.; DURAI KUMAR, P.; KALAIARASI, K. Effect of glucose on *in vitro* rooting of mature plants of Bambusa nutans. **Scientia Horticulturae**, v.116, n.1, p.113-116, 2008.

Micropropagação de bambu em larga-escala: princípios, estratégias e desafios

Jênifer Silva Nogueira⁽¹⁾, Frederico Henrique da Silva Costa⁽²⁾, Paulo Arthur Almeida do Vale⁽³⁾, Zanderluce Gomes Luis⁽⁴⁾, Jonny Everson Scherwinski-Pereira^{(5)}*

⁽¹⁾ Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade de Brasília. 70910-900, Brasília, DF.
E-mail: jeniferbio@gmail.com

⁽²⁾ Universidade Federal do Acre, Campus Universitário. 69920-900, Rio Branco, AC. E-mail: frederico@ufac.br

⁽³⁾ Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (Funtac). 69920-175, Rio Branco, AC. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte de Pós-Graduação. Rio Branco, AC. E-mail: paulo.vale@ac.gov.br

⁽⁴⁾ Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA). Cidade Universitária, campus III, Avenida dos Ipês s/n, Cidade Jardim, Marabá, PA, 68500-000, Brasil. E-mail: zanbio@hotmail.com

⁽⁵⁾ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Avenida W5 Norte (final), PqEB, 70770-917, Brasília, DF.
E-mail: jonny.pereira@embrapa.br

*Autor para correspondência.

Resumo – Os bambus são plantas predominantemente tropicais e subtropicais, perenes, renováveis, de rápido crescimento e com alta produção de biomassa. Entretanto, uma limitação dessas espécies quanto ao seu uso racional tem sido o deficiente processo de multiplicação. O primeiro aspecto a considerar é o seu florescimento, que geralmente é um fenômeno raro. Além disso, as sementes apresentam baixa viabilidade, o que dificulta sua propagação sexuada. Assim, bambus são propagados vegetativamente por divisão de touceiras, partes de rizomas ou, ainda, secções de colmos que, embora eficientes quanto à sobrevivência, apresentam limitações, sobretudo pela capacidade de produzir um número limitado de mudas. Diante disso, estratégias biotecnológicas, notadamente aquelas associadas às técnicas da cultura *in vitro*, são ferramentas de grande importância para a reprodução vegetativa de bambus, pois, uma vez dominadas, podem possibilitar a produção em larga escala de novas plantas. Neste capítulo, são apresentados e discutidos os princípios, as estratégias e as limitações do uso da cultura de tecidos de plantas para a micropropagação dos bambus. São abordadas e descritas diferentes técnicas, que incluem o uso de meios líquidos, embriogênese somática e biorreatores de imersão temporária, indicando suas vantagens e desvantagens.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: POACEAE, BAMBUSOIDEAE, EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA, BIORREATORES DE IMERSÃO TEMPORÁRIA, MEIO LÍQUIDO, MICROPROPAGAÇÃO DE BAIXO CUSTO.



Large-scale micropropagation of bamboo: principles, strategies and challenges

Abstract – Bamboos are predominantly tropical and subtropical plants. They are also perennials, renewable, fast growing and have high biomass production. However, a limitation for the rational use of these species has been the deficient propagation process. The first aspect to consider is its flowering, which is usually a rare phenomenon. Furthermore, the seeds exhibit low viability, which makes it difficult for the sexual propagation. Thus, bamboos are propagated vegetatively through the division of clumps, parts of rhizomes, or even culm sections, which, while efficient in terms of survival, also present limitations, particularly in their ability to produce a limited number of plantlets. Therefore, biotechnological strategies, notably those associated with the *in vitro* culture techniques, are very important tools for vegetative reproduction of bamboos, since, once mastered, they may allow the production of new plants in large-scale. This chapter presents and discusses the principles, strategies and limitations of using plant tissue culture for the micropropagation of bamboos. Different techniques are addressed and described, including the use of liquid media, somatic embryogenesis and temporary immersion systems, indicating the advantages and disadvantages of each.

INDEX TERMS: POACEAE, BAMBUSOIDEAE, SOMATIC EMBRYOGENESIS, TEMPORARY IMMERSION SYSTEMS, LIQUID MEDIUM, LOW-COST MICROPROPAGATION.

Introdução

Os bambus pertencem à família Poaceae (Gramineae), subfamília Bambusoideae, distribuídos em cerca de 90 gêneros e 1400 espécies (Lin et al., 2012; Yang et al., 2008; Kelchner, 2013). São plantas distribuídas predominantemente em regiões tropicais e subtropicais, de ciclo perene, renováveis, de rápido crescimento e com alta produção de biomassa. Por tratar-se de uma planta rústica, renovável e que produz anualmente, sem a necessidade de replantios, o bambu tem grande potencial agrícola e pode ser competitivo em relação a outros tipos de matérias-primas, também em razão da velocidade de crescimento e de aproveitamento por área (Fialho et al., 2005).

Embora seja um mercado em expansão, no Brasil, devido basicamente à falta de tradição da cadeia produtiva do bambu e, também, às lacunas de conhecimentos e tecnologias que poderiam permitir utilizar as diferentes espécies,



o uso do bambu, com raras exceções, tem se limitado a pequenos negócios, basicamente ao artesanato e à ornamentação (Fialho et al., 2005; Afonso, 2011).

Por outro lado, o país dispõe de clima favorável e grande extensão de áreas, incluindo as degradadas e inaptas para outros cultivos, mas adequadas ao plantio de diversas espécies de bambu de valor comercial. Além disso, florestas nativas de bambus arborescentes do gênero *Guadua* ocupam milhares de hectares contínuos, principalmente no sudoeste da Amazônia, e ainda são praticamente inexploradas do ponto de vista botânico, ecológico e/ou de uso como recursos genéticos (Afonso, 2011; Singh et al., 2013).

Acredita-se que a produção de bambu represente uma alternativa inovadora e interessante para o agronegócio brasileiro (Fialho et al., 2005) e, assim, tornam-se fundamentais os avanços nos programas de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias capazes de gerar conhecimentos científicos que garantam inovação tecnológica, sustentabilidade e potencialização da utilização dessa matéria-prima, de modo a maximizar seus benefícios socioeconômicos e ambientais.

Uma limitação importante para o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu refere-se ao seu deficiente processo de multiplicação. Seu florescimento é geralmente raro e, dependendo da espécie, pode levar dezenas ou até centenas de anos (Gillis et al., 2007; Singh et al., 2013). Além disso, as sementes dos bambus apresentam baixa viabilidade, o que dificulta sua propagação sexuada. Por esta razão, os bambus são propagados vegetativamente, principalmente por técnicas como transplantio direto (desdobramento de touceiras) ou enraizamento de estacas e pedaços de colmos (Fonseca, 2007) que, embora relativamente eficientes quando se quer pouca quantidade de mudas, apresentam limitações, especialmente para aqueles casos em que se deseja um número elevado de plantas.

Diante dessas dificuldades, a micropropagação é uma alternativa possível para a multiplicação dessas espécies (Mudo et al., 2013; Singh et al., 2013), pois pode possibilitar a produção em larga escala de mudas a partir de tecidos e órgãos de plantas doadoras, com a vantagem de manter a identidade genética do material propagado e poder ser direcionada para plantas matrizes, acessos ou mesmo espécies de alto valor agrônômico ou comercial onde os outros processos de propagação são menos vantajosos.

Nesse contexto e devido à reduzida disponibilidade de literatura atualizada sobre o tema, o presente capítulo apresenta e discute os princípios, as estratégias e as limitações do uso da cultura de tecidos de plantas para a micropropagação dos bambus, tanto sob a ótica das técnicas convencionais quanto das mais avançadas.

Material e métodos

TÉCNICAS CONVENCIONAIS APLICADAS À PROPAGAÇÃO *IN VITRO* DO BAMBU -

Embora estudos de cultura de tecidos de plantas tenham sido extensivamente desenvolvidos em outras espécies de gramíneas, os bambus vêm recebendo atenção relativamente limitada, à exceção de autores da Ásia, onde os bam-

Tabela 1. Protocolos recentes de organogênese desenvolvidos para a produção de mudas de espécies de bambu por micropropagação convencional

Espécie	Explante	Composição do meio de cultura	
<i>Thamnocalamus falconeri</i> , Hook.f. ex Munro	Estabelecimento: segmento nodal (1,5-2 cm em comprimento). Multiplicação; e enraizamento: aglomerados de 3-4 brotos.	Estabelecimento: MS + sacarose (3%) + BAP (5 mg.L ⁻¹), pH 5,6; ou combinado a Cinetina (1,0 ou 2,0 mg.L ⁻¹). Multiplicação: MS + sacarose (3%) + BAP (5 mg.L ⁻¹) + AIB (2 mg.L ⁻¹), pH 5,6. Enraizamento: MS (50%) + sacarose (3%) + IBA (5 mg.L ⁻¹), pH 5,6.	
<i>Bambusa ventricosa</i>	Estabelecimento: segmento nodal (1,5 cm de comprimento) com uma gema axilar	Estabelecimento: MS + sacarose (3%) + 6-BA (22,2 µM) + Ágar (2,5 g.L ⁻¹), pH 5,8. Indução de múltiplos brotos: MS + sacarose (3%) + 6-BA (26,6 µM) + Ágar (2,5 g.L ⁻¹), pH 5,8. Enraizamento de brotos: MS + sacarose (3%) + 6-BA (4,4 µM) + ANA (2,7 µM) + AIB (4,9 µM) + Ágar (2,5 g.L ⁻¹), pH 5,8.	
<i>Bambusa tulda</i> ; <i>Melocanna baccifera</i>	Estabelecimento: Segmento nodal (1,5-2 cm) com uma gema axilar Multiplicação: aglomerados de 3 a 5 brotos	Estabelecimento: MS + sacarose (3%) + BAP (3 mg.L ⁻¹) Multiplicação: MS + sacarose (3%) + BAP (3 mg.L ⁻¹) + Cinetina (2 mg.L ⁻¹) Enraizamento e formação de rizoma: MS(1/2) + sacarose (3%) + AIB (3 mg.L ⁻¹) + Coumarin (10 mg.L ⁻¹) + BAP (0,05 mg.L ⁻¹).	
<i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. Ex Wendl	Estabelecimento: segmento nodal com gema axilar, obtido de matrizes mantidas em casa de vegetação. Multiplicação: aglomerados de três brotos com duas folhas expandidas.	Estabelecimento (brotação): MS + sacarose (3%) + BAP (6 µM). Após 20 dias: MS + sacarose (3%) + BAP (12 µM) + Vitrofuril (116 mg.L ⁻¹), pH 6,0. Multiplicação: MS + sacarose (3%) + 6-BA (12 µM) + Vitrofuril1 (116 mg.L ⁻¹), pH 6,0 (transferidos após 20 dias de estabelecimento <i>in vitro</i>).	
<i>Dendrocalamus strictus</i> (Roxb.) Nees – Nativo da Índia	Estabelecimento: segmentos nodais, coletados de plantas em condições de floresta. Multiplicação: não informado. Enraizamento: Aglomerados de três brotos.	Estabelecimento e multiplicação: MS + Sacarose (3%) + BAP (4 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,8%), pH 5,7. Enraizamento <i>in vitro</i> : MS + Sacarose (3%) + ANA (3 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,8%), pH 5,7.	



bus são tradicionalmente mais valorizados quanto ao seu uso. Nos últimos anos, porém, com o aumento da importância do bambu no mercado mundial, o número de trabalhos que utilizam técnicas da cultura de tecidos voltadas para a propagação de espécies aumentou consideravelmente e um bom número de trabalhos descrevendo protocolos completos ou partes deles já pode ser encontrado na literatura (tabelas 1 e 2).

Sistema de cultivo	Conclusões	Instituição/ País	Referência
Estabelecimento: meio líquido estacionário, com uso de ponte de papel. Multiplicação: meio líquido estacionário, a intervalos de 30 dias.	O estabelecimento foi mais efetivo com BAP, com 90% de formação de brotos, e 8,9 brotos/explante; enquanto a maior taxa de multiplicação foi $6,55 \pm 0,25$. O meio semissólido reduziu o crescimento e a taxa de multiplicação. O percentual de enraizamento <i>in vitro</i> e sobrevivência <i>ex vitro</i> foi de 100%.	Forest Research Institute, India.	Bakshi et al. (2015)
Sistema convencional (meio gelificado)	Nas etapas de estabelecimento e multiplicação, a indução e proliferação de brotos (84%) foram melhores com 6-BA. Os brotos tiveram alta taxa de enraizamento, sendo mais efetivo com ANA.	Nanjing Forestry University, China.	Wei et al. (2015)
Líquido estacionário (todas as etapas). Na fase de multiplicação, transferências a cada 10 dias para meio fresco.	A quebra da dominância apical e indução de brotos foram eficientes com BAP (3 mg.L^{-1}). Na fase de multiplicação, a combinação de BAP e Cinetina teve efeito sinérgico na taxa de multiplicação e qualidade dos brotos. Plantas foram aclimatizadas com sucesso (70,3% a 81,8%). A fidelidade clonal foi comparada com plantas matrizes e confirmada por genotipagem. Plantas micropropagadas foram 80% monomórficas.	Institute of Bioresources and Sustainable Development, India. Manipur University, India. The University of Burdwan, India. University of Yaoundé I, Cameroon.	Waikhom e Louis (2014)
Estabelecimento: líquido estacionário (10 mL/ tubo de ensaio). Multiplicação: 70 mL de meio líquido estacionário (Magenta™), subcultivos a 3 semanas.	O estabelecimento e multiplicação <i>in vitro</i> foram conduzidos com sucesso. O material produzido foi utilizado apenas para experimentos em biorreatores tipo Rita®.	Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.	García-Ramírez et al. (2014)
Sistema convencional (meio gelificado), em todas as etapas.	A contaminação por fungos e bactérias foi uma limitação no estabelecimento <i>in vitro</i> . Maior produção de brotos ($3,68 \pm 0,7$, brotos/explante), foi obtida em meio MS + BAP (4 mg.L^{-1}). Marcadores moleculares, RAPD e ISSR, confirmaram a fidelidade clonal. As plantas foram aclimatizadas e plantadas em campo.	University of North Bengal, India. Sikkim State Council of Science and Technology, India. Bodoland University, India.	Goyal et al. (2014)

Continua

Espécie(s)	Explante	Composição do meio de cultura	
<i>Bambusa balcooa</i>	Estabelecimento: segmento nodal simples (3-4 cm de comprimento). Multiplicação; Enraizamento: aglomerados de 4-5 brotos	Estabelecimento: MS + sacarose (2%) + Ágar (0,8%), pH 5,75. Proliferação de brotos: MS + sacarose (1%) + BAP (4,4 µM) + ANA (0,53 µM) + Ágar (0,8%), pH 5,75. Enraizamento: MS + sacarose (2%) + ANA (16,11 µM) + Gelrite™ (0,2%), pH 5,75.	
<i>Dendrocalamus brandisii</i> Kurz	Estabelecimento: segmento nodal (1,5-2 cm de comprimento) Multiplicação: Aglomerados de 2-6 brotos. Enraizamento: Aglomerados de 2-3 brotos (de 3-4 cm de comprimento).	Estabelecimento: MS + sacarose (3%) + TDZ (0,25 mg.L ⁻¹) + ANA (0,25 mg.L ⁻¹) + Ácido ascórbico (25 mg.L ⁻¹) + Ácido cítrico e Cisteína (12,5 mg.L ⁻¹) + Ácido glutâmico (50 mg.L ⁻¹), pH 6,2. Multiplicação (2 semanas): MS + ANA (0,25 mg.L ⁻¹) + BAP (2,5 mg.L ⁻¹). Enraizamento: MS (50%) + aditivos + ANA (1 mg.L ⁻¹)	
<i>Bambusa arundinacea</i> Retz. Willd	Estabelecimento: sementes. Iniciação de brotos: segmento nodal de plântulas com 20 dias de cultivo. Multiplicação: cluster de brotos.	Germinação: MS (50%) + sacarose (3%) + Ágar (7 g.L ⁻¹), pH 5,7; em condições de escuro. Iniciação de brotos: MS + BAP (2,0 mg.L ⁻¹) + sacarose (3%) + Ágar (7 g.L ⁻¹), pH 5,7. Multiplicação: MS + BAP (3,0 mg.L ⁻¹) + sacarose (3%) + Ágar (7 g.L ⁻¹), pH 5,7.	
<i>Dendrocalamus asper</i>	Estabelecimento: segmento nodal (2-3 cm) Multiplicação: brotações	Estabelecimento: MS + sacarose (3%) + Ágar (0,7%) Multiplicação: MS + BAP (3 mg.L ⁻¹) + Sulfato de adenina (50 mg.L ⁻¹) Enraizamento: MS líquido + IBA (1,0 mg.L ⁻¹).	
<i>Dendrocalamus hamiltonii</i> Nees et Arn. ex Munro	Estabelecimento: segmento nodal. Multiplicação:	Estabelecimento: MS + TDZ (3,0 µM). Proliferação de brotos: MS + TDZ (1,5 µM) + Ácido ascórbico (56 µM). Enraizamento: MS (50%) + AIB (25,0 µM) + cloreto de colina (36,0 µM). Todos os meios foram suplementados com açúcar cristal (3%), Ágar (0,8%), pH 5,8.	
<i>Dendrocalamus hamiltonii</i> Nees et Arn. ex Munro	Estabelecimento: segmento nodal (2,5-3 cm de comprimento) e uma gema axilar. Multiplicação e enraizamento: Aglomerados (4-6 brotos) (3-5 cm).	Estabelecimento: MS + TDZ (3,0 µM). Proliferação de brotos: MS + TDZ (1,5 µM) + Ácido ascórbico (56 µM). Enraizamento: MS (50%) + AIB (25,0 µM) + cloreto de colina (36,0 µM). Todos os meios foram suplementados com açúcar cristal (3%), Ágar (0,8%), pH 5,8.	
<i>Bambusa nutans</i> Wall.	Estabelecimento: segmento nodal (3-4 cm).	Estabelecimento e multiplicação: MS + sacarose (3%) + BAP (2 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,8%).	
<i>Bambusa nutans</i> G.C. Wall Ex Munro	Estabelecimento: sementes. Multiplicação: plântulas com raízes excisadas.	Estabelecimento: MS + Gelrite™ (2,5 g.L ⁻¹), pH 5,8. Multiplicação: MS + TDZ (0,2 mg.L ⁻¹); ou BAP (10 mg.L ⁻¹) + Gelrite™ (2,5 g.L ⁻¹), pH 5,8. Enraizamento: MS + AIB (2 mg.L ⁻¹) + Gelrite™ (2,5 g.L ⁻¹), pH 5,8.	

Sistema de cultivo	Conclusões	Instituição/ País	Referência
Sistema convencional (gelificado)	O meio MS, adicionado de BAP (4,4 µM) e ANA (0,53 µM) produziu 19,8±1,4 brotos/explante, com 3,44±0,23 cm. Plantas <i>in vitro</i> tiveram maior conteúdo relativo de água (72,7%), menor índice de área foliar, maior conteúdo de açúcares solúveis e amido, e menor conteúdo de lignina comparado às plantas aclimatizadas. Marcadores RAPD e ISSR confirmaram a estabilidade genética das plantas micropropagadas.		Brar et al. (2014)
Líquido estacionário; gelificado (todas as etapas)	Maior eficiência na micropropagação foi observada em meio líquido contendo TDZ e ANA (1-6 brotos) comparada ao semissólido (1-3). As brotações foram enraizadas e aclimatizadas com sucesso.	Rai Technology University, India. Dayananda Sagar College of Engineering & Centre for R & D in Life Sciences, India.	Kavitha e Kiran (2014)
Sistema convencional (meio gelificado)	O percentual de germinação foi 95%, com formação de brotos com 2-3 nós. BAP foi mais efetivo na indução de brotos (88,5% e 4,8 brotos/explante). Marcadores RAPD confirmaram a estabilidade genéticas das plantas micropropagadas.	Periyar University, India. Universiti Sains Malaysia (USM), Malasia.	Kalaiaarasi et al. (2014)
Estabelecimento: Sistema convencional (meio gelificado) Multiplicação: líquido estacionário	O tipo e concentração de regulador de crescimento influenciaram a diferenciação e o número de brotações. BAP foi mais efetivo comparado a Cinetina. A taxa de multiplicação é 5-10 vezes maior em meio líquido com BAP e sulfato de adenina. Plantas albinas foram regeneradas após longo período de multiplicação. Houve 90% de sobrevivência das plantas aclimatizadas.	Birla Institute of Technology, India. Birsa Agricultural University, India.	Kumar e Banerjee (2014)
Sistema convencional (meio gelificado)	Marcadores moleculares – RAPD, ISSR, AFLP e SSR, confirmaram a fidelidade clonal de plantas regenerantes do 3º (terceiro) ao 30º subcultivo, validando o protocolo de micropropagação.	Centre for Plant Biotechnology, India. Kurukshetra University, India.	Singh et al. (2013)
Sistema convencional (meio gelificado)	A coleta de explantes é mais efetiva no início do verão. 98,8% dos explantes estabelecidos brotaram (5,23 brotos/explante). Subcultivos de 21 dias, em meio MS + TDZ + ácido ascórbico, são condições efetivas para a micropropagação. Cluster (8-10 brotos) foram mais efetivos na multiplicação. Houve alta porcentagem de enraizamento (89%). A sobrevivência das plantas foi de 79,76% (aclimatização) e 85% em campo.	Kurukshetra University, India. Centre for Plant Biotechnology, India.	Singh et al. (2012)
Sistema convencional (meio gelificado)	Menor contaminação foi obtida em meses com menor precipitação pluviométrica. Máximo número de brotos (11) foi observado com 2 mg.L ⁻¹ de BAP.	Council of Scientific & Industrial Research, India.	Mehta et al. (2011)
Sistema convencional (meio gelificado)	A germinação foi de 70% aos 15 dias de cultivo. TDZ foi mais efetivo na fase de multiplicação comparado ao BAP. BAP (3 mg.L ⁻¹) produziu brotações mais alongadas, capazes de individualização. Para enraizamento, brotos provenientes de TDZ e BAP (10 mg.L ⁻¹) necessitaram de cultivo em meio sem regulador.	Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Brasil.	Oliveira et al. (2009/2012)

Tabela 2. Protocolos utilizando embriogênese somática desenvolvidos para produção de mudas micropropagadas de bambu

Espécie	Explante	Composição do meio de cultura
<i>Bambusa beecheyana</i> Munro var. <i>beecheyana</i>	Segmentos (2-5 mm) de flores jovens obtidas de inflorescências jovens (0,5-1,0 cm de comprimento); raízes adventícias.	Indução de calos: MS + sacarose (6%) + caseína hidrolisada (1,0 mg.L ⁻¹) + 2,4-D (3,0 mg.L ⁻¹) + Cinetina (2,0 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,7%), pH 5,7.
<i>Bambusa oldhamii</i> Munro	Segmentos de 2-5 mm excisados de inflorescências jovens (0,5-1 cm); e segmentos de raízes adventícias.	Indução de calos: MS + sacarose (6%) + 2,4-D (3,0 mg.L ⁻¹) + Cinetina (2,0 mg.L ⁻¹) + Caseína hidrolisada (1,0 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,7%), pH 5,7.
<i>Bambusa vulgaris</i> ; <i>Dendrocalamus giganteus</i> ; e <i>Dendrocalamus strictus</i>	Explantos excisados de embriões zigóticos, e segmentos nodais (1,0-1,5 cm) com uma gema, obtidos de plântulas com 10 dias de cultivo <i>in vitro</i> .	Indução de calos: MS + sacarose (3%) + Cinetina (0,25 mg.L ⁻¹) + 2,4-D (3,0 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,8%). Subcultivo/manutenção de calos: meio de indução; ou meio de regeneração composto de MS (50%) + sacarose (3%) + Cinetina (0,5 mg.L ⁻¹) + 2,4-D (2,0 mg.L ⁻¹) + sulfato de adenina (10 mg.L ⁻¹) + Ágar (0,8%). Subcultivos a intervalos de quatro semanas. Enraizamento: MS (50%) + sacarose (2%).
<i>Dendrocalamus hamiltonii</i> Nees et Arn. Ex Munro	Obtenção de culturas assépticas: segmentos nodais de 2-4 cm de comprimento e 0,4-0,8 cm em diâmetro. Indução de calos: segmentos de 4-5 mm obtidos de brotos com 3-4 cm.	Obtenção de brotos: MS (50%) + sacarose (3%) + Ágar (0,8%). Indução de calos: MS (50%) + BA, 2,4-D e ANA (2 mg.L ⁻¹). Proliferação/manutenção de calos: MS + BA e 2,4-D (1 mg.L ⁻¹). Subcultivos a cada 4 semanas. Diferenciação de embrioides: MS (50%) + BA (2,5 mg.L ⁻¹). Maturação e germinação/formação de brotos: MS + BA e 2,4-D (1,0 mg.L ⁻¹) + GA3 (0,5 mg.L ⁻¹). Os meios foram adicionados de sacarose (3%) e Ágar (0,8%), pH 5,7
<i>Bambusa edulis</i>	Segmentos (nós e internódios) de 2 mm de comprimento, obtidos de brotos cultivados <i>in vitro</i> .	Indução: sacarose (1,5-4,5%) + TDZ (0,455 µM). Subcultivos a intervalos de dois meses, por seis meses. Manutenção de calos: sacarose (4,5%) + Cinetina (9,2 µM) + 2,4-D (13,6 µM) + água de coco verde (0,1%). Germinação dos embriões somáticos (e.s.): sacarose (3%) + TDZ (0,046 ou 0,455 µM). Nas etapas, foi usado o meio MS + Gelrite (2,2 g L ⁻¹), pH 5,7.
<i>Bambusa balcooa</i> Roxburgh	Pseudoespiguetas	Indução de calos: sacarose (3%) + 2,4-D (4,5 µM), por 4 semanas. Multiplicação/regeneração: BAP (5 mg.L ⁻¹), com redução para 1 mg.L ⁻¹ nos últimos subcultivos. Nas etapas, foi usado o meio MS + Gelrite (0,16%), pH 5,7.
<i>Bambusa multiplex</i>	Espiguetas; Embrião zigótico	Indução: NB e N6 + 2,4-D (4 mg.L ⁻¹), para espiguetas e embriões. Enraizamento: MS + ANA (2 mg.L ⁻¹).

Conclusões	Instituição/ País	Referência
Linhas embriogênicas foram formadas a partir de calos brancos a amarelados, com estruturas nodulares, compactos, e células com citoplasma rico em grãos de amido. O potencial embriogênico de tecidos de calos compactos e organizados foi mantido por mais do que 16 meses. Embrioides foram obtidos a partir de estruturas nodulares e germinaram espontaneamente em meio com ou sem reguladores de crescimento. Análises de microscopia de luz e microscopia eletrônica de varredura revelaram embrioides com escutelo, meristema apical do broto, coleóptilo e coleorriza. As plantas foram aclimatizadas com sucesso, e transplantadas para solo sem aclimatização.	Academia Sinica, China.	Yeh e Chang (1986a)
Inflorescências jovens apresentam alta capacidade de indução de calos e regeneração de embriões somáticos. Calos embriogênicos podem ser subcultivados e mantidos por até 16 meses sem perda de totipotência. Fotomicrografias de microscopia eletrônica de varredura caracterizaram embrioides com coleóptilo e um escutelo. Estruturas nodulares foram obtidas de segmentos de raízes, porém houve a formação de plantas albinas.	Academia Sinica, China.	Yeh e Chang (1986)
A obtenção de embriões somáticos foi eficiente nas espécies estudadas. Foi obtida alta porcentagem (95-98%) de conversão em plantas normais, que foram aclimatizadas com 95% de sobrevivência. A ocorrência de plantas albinas foi observada. O florescimento <i>in vitro</i> foi induzido.	Regional Plant Resource Centre, India.	Rout e Das (1994)
Apenas calos compactos, nodulares e amarelados diferenciaram em embriões somáticos. Análises histológicas mostraram que embrioides foram originados de meristemoides do parênquima xilemático. Calos embriogênicos podem ser mantidos por períodos de dois anos sem perda de potencial embriogênico.	Institute of Himalayan Bioresource Technology, India.	Godbole et al. (2002)
TDZ foi eficiente para indução da embriogênese somática e germinação dos e.s., que apresentaram alta (>80%) taxa de germinação. Plantas <i>in vitro</i> floresceram, porém, o pólen foi estéril. Não foram observadas plantas albinas.	Taichung Health and Management University, China. Chung-Shan Medical University, China. Academia Sinica, China	Lin et al. (2003)
40% de regeneração em quatro meses. Plantas regeneradas foram uniformes e com estabilidade genética (AFLP) e de ploidia (citometria de fluxo). Comparado a micropropagação convencional, a redução nos custos foi de 57%.	Oprins Plant NV, Bélgica. Ghent University, Bélgica.	Gillis et al. (2007)
Meio NB e N6 induziram 87,30% e 76,27% de calos. Aproximadamente 8% das plantas foram albinas, e mosaicos foram ocasionalmente observados. Plantas enraizadas foram aclimatizadas com 70% de sucesso.	Research Institute of Subtropical Forestry, China.	Yuan et al. (2009)

Continua

Espécie	Explante	Composição do meio de cultura
<i>Dendrocalamus hamiltonii</i>	Embrião zigótico	Indução de calos: MS + 2,4-D (1,0-3,0 mg.L ⁻¹) Iniciação, diferenciação e desenvolvimento de broto: MS + BA (3 mg.L ⁻¹) + Cinetina (3 mg.L ⁻¹). Diferenciação: MS + BA (2 mg.L ⁻¹) + Cinetina e ANA (1 mg.L ⁻¹). Enraizamento: MS (50%) sacarose (3%) + AIB (5 mg.L ⁻¹) + Gelrite (0,25%).
<i>Bambusa nutans</i> Wall.	Estabelecimento: segmento nodal (3-4 cm) Indução de calo embriogênico: tecidos (4-5 mm), excisados da base de brotações. Enraizamento: brotos individuais e clusters de 3-4 brotos.	Estabelecimento e multiplicação: MS+sacarose (3%) + BAP (2 mg.L ⁻¹) Ágar(0,8%). Indução de calos: MS + 2,4-D (5 mg.L ⁻¹). Maturação/conversão: MS+BAP e 2,4-D (1 mg L ⁻¹)+Ác. Ascórbico (20 mg.L ⁻¹)+ Glicose (2%).
<i>Dendrocalamus farinosus</i> (Keng et Keng f.) Chia et H.L. Fung	Embriões zigóticos e secções de 1 mm de espessura, obtidos de sementes maduras e brotos jovens.	Indução: MS + sacarose () + 2,4,5-T (2,0 mg.L ⁻¹) + Cinetina (0,2 mg.L ⁻¹) + AIB (0,4 mg.L ⁻¹). Regeneração/elongação/proliferação de brotos: MS + Cinetina (2,5 mg.L ⁻¹) + AIA (0,5 mg.L ⁻¹). Enraizamento de brotos (3-4 cm): MS + AIB (0,4 mg.L ⁻¹) + AIA (0,25 mg L ⁻¹), por 15 dias. Todos os meios foram suplementados com sacarose (3%) e Ágar (0,7%), pH 5,8.
<i>Dendrocalamus hamiltonii</i> Nees et Arn. Ex Munro	Estabelecimento: segmento nodal contendo gema axilar Indução de calos: segmentos transversais de brotos assépticos (cerca de 5 mm)	Estabelecimento: MS (50%) sem reguladores de crescimento. Indução e manutenção de calos: MS + sacarose (2%) + PhytageITM (0,2%) + BAP (5 µM) + 2,4-D (5 µM); fotoperíodo de 16h.
<i>Dendrocalamus latiflorus</i> Munro	Anteras	Indução de calos: sais do meio M8 + ANA (5,37 µM) + BA (1,33 µM) + APA (110,17 µM), pH 5,8; pré-tratamento de 3 dias a 4 °C. Aditivos: nitrato de prata, prolina, glutamina, caseína hidrolisada, maltose. Diferenciação: M8 + Cinetina (2,32 µM) + BA (8,89 µM) + ANA (1,08 µM) + APA (110,17 µM). Enraizamento: MS (50% dos macronutrientes e ferro), micronutrientes e vitaminas de B5 + sacarose (3%) + Gelrite (0,25%).
<i>Moso bamboo</i> [<i>Phyllostachys heterocycla</i> var. <i>pubescens</i> (Mazel ex J. Houz.) Ohwi]	Embrião zigótico	Indução de calos: MS + 2,4-D (4 mg.L ⁻¹) + Zeatina (0,1 mg.L ⁻¹). Os meios foram suplementados com aminoácidos, glutamina e caseína hidrolisada, pH 5,8, Ágar (8 g.L ⁻¹). Proliferação de calos: MS + 2,4-D (0,5-2,0 mg.L ⁻¹), subcultivo de 15 dias, por 4 meses. Regeneração de plantas: MS + Zeatina (5-7 mg.L ⁻¹) Enraizamento: MS + sacarose (3%) + ANA (2 mg.L ⁻¹) + Zeatina (0,2 mg.L ⁻¹) + Ágar (10 g.L ⁻¹).



Conclusões	Instituição/ País	Referência
Calos embriogênicos resultaram em 59,7% de desenvolvimento de brotos e germinação de embriões somáticos. Análises histológicas demonstraram que ambos embriogênese somática e organogênese foram induzidos durante a iniciação, diferenciação de brotos, e desenvolvimento de plantas. A razão de plantas regeneradas via organogênese e embriogênese foi de 48:17.	Zhejiang Agriculture and Forestry University, China.	Zhang et al. (2010)
Menor contaminação foi obtida em meses com menor precipitação pluviométrica. Máximo número de brotos (11) foi observado com 2 mg.L ⁻¹ de BAP. A substituição de sacarose por glicose (2%) favoreceu a manutenção em longo prazo das culturas e conversão em plantas. Análises histológicas de estruturas nodulares revelaram a presença de meristemóides e embriões somáticos. Entre os regenerantes, 98,8% foram monomórficos por análise AFLP, 1,2% foram off-type. A sobrevivência <i>ex vitro</i> das plantas foi de 90%.	Council of Scientific & Industrial Research, India.	Mehta et al. (2011)
A indução a partir de explantes obtidos de brotos jovens foi baixa (21 a 29,7%), e os calos obtidos oxidaram e morreram após duas semanas de cultivo. A embriogênese somática foi eficiente a partir de embriões zigóticos maduros, com frequência de 95%. Brotos albinos foram observados. Plantas regeneradas foram enraizadas e aclimatizadas com 90,1% de sobrevivência.	Southwest University of Science and Technology, China.	Hu et al. (2011)
Análises histológicas confirmaram a organização bipolar (eixo coleóptilo-coleorriza) dos embriões somáticos. Explantes provenientes de plantas matrizes com 10 anos de idade apresentam maiores resposta a embriogênese somática. Plantas regeneradas possuem características fisiológicas e morfológicas semelhantes, ou superiores, as plantas matrizes em campo.	Pant Institute of Himalayan Environment and Development, India. Sikkim University, India. University of Mississippi, USA.	Bag et al. (2012)
A maior taxa de calogênese foi 5,08±0,61%, e 28,3±4,29% de diferenciação. Análise de citometria de fluxo demonstrou que a maioria (96/100) das plantas regeneradas foram dodecaploides, três hexaploides, e uma triploide. Plantas dodecaploides tiveram maior conteúdo de clorofila. As plantas tiveram 90% de enraizamento e 95% de sobrevivência <i>ex vitro</i> .	Chinese Academy of Forestry, China.	Qiao et al. (2013)
Maior indução (50%) e formação de calo embriogênico (15%) ocorreram em meio MS aos 10-20 dias de cultivo. Calos embriogênicos mantiveram sua capacidade de regeneração após 12 meses de subcultivo. A regeneração em plantas foi cerca de 5%. As plantas regeneradas foram aclimatizadas.	Chinese Academy of Forestry, China.	Yuan et al. (2013)

De maneira geral, a propagação *in vitro* ou micropropagação de bambu – que chamaremos aqui de convencional – não foge dos procedimentos básicos realizados para outras espécies: consiste basicamente em multiplicar propágulos vegetativos em laboratório, sob condições de total assepsia, em meio nutritivo específico e condições artificiais de luminosidade e temperatura (Singh et al., 2013). Para isso, o processo convencional é constituído essencialmente de etapas distintas, porém dependentes e que podem ser assim organizadas: i) Seleção das plantas matrizes; ii) estabelecimento *in vitro* de cultivos; iii) multiplicação/proliferação de brotos; iv) enraizamento e; v) aclimatização.

Seleção de plantas matrizes - A escolha das plantas matrizes de onde são retirados os propágulos para o cultivo constitui a primeira etapa da micropropagação do bambu. É nesta etapa que a espécie, planta-modelo ou planta-matriz que se quer propagar é escolhida. Ainda nessa etapa, o estado fisiológico, nutricional e sanitário das matrizes deve ser considerado, pois poderá exercer influência negativa nas etapas posteriores da micropropagação.

A depender do propágulo a ser utilizado, o ideal é dispor sempre de matrizes em bancos ativos de germoplasma (BAG), coleções de trabalho, ou melhor, jardins clonais, mantidos preferencialmente em casa de vegetação, nas quais é possível que se realizem práticas fitossanitárias nas plantas antes do processo de estabelecimento *in vitro* dos propágulos. Plantas em campo, apesar de também poderem servir como fontes de propágulos, estão expostas a condições ambientais naturais, o que pode ocasionar níveis altos de contaminação no momento do estabelecimento *in vitro*.

Como um dos fatores primordiais do sucesso da técnica reside na obtenção inicial de propágulos vegetativos livres de contaminação, o estabelecimento de microbrotos com pelo menos uma gema lateral pode ser facilitado quando as plantas matrizes são pulverizadas uma vez por semana com fungicidas sistêmicos de amplo espectro, como Carbendazim (10 mL/10 L de água), em condições de casa de vegetação, por pelo menos duas semanas, antes da coleta do material para o estabelecimento.

Estabelecimento *in vitro* - Entende-se por explante qualquer fragmento de célula, tecido ou órgão oriundo de partes vegetativas ou reprodutivas de uma planta (chamada de planta-matriz) utilizado como material vegetal inicial ao cultivo *in vitro*. Assim como para as demais espécies, em princípio qualquer tipo de propágulo vegetativo, desde que vivo, pode ser empregado para iniciar a propagação *in vitro* do bambu. Porém, na prática, utilizam-se as partes



vegetativas da planta-matriz que contêm os pontos ativos de crescimento da planta, ou seja, com porção de tecido meristemático, o que ocorre principalmente a partir de propágulos obtidos de brotações mais novas.

Para a micropropagação de bambus, vários tipos de propágulos têm sido empregados para o início do cultivo, sendo os mais utilizados aqueles provenientes da germinação de sementes, ápices caulinares e microestacas com gemas axilares, neste último caso necessariamente obtidos de brotações jovens coletadas da planta-matriz adulta (veja a figura 1 e a tabela 1).

Recomenda-se que a coleta seja realizada preferencialmente no mesmo dia do estabelecimento *in vitro* para evitar a desidratação dos tecidos, que no caso do bambu é rápida e pode prejudicar a viabilidade dos explantes. Nesta fase, deve-se considerar também a estação do ano, que pode interferir não apenas nas taxas de contaminação do material, mas também nos níveis hormonais e na concentração de polifenóis das plantas. Um correto estudo sobre a época do ano mais favorável à coleta do material pode melhorar os índices de estabelecimento, além de facilitar o planejamento das coletas, a organização das etapas de cultivo e o uso da mão de obra no laboratório.

Como os vários tipos de propágulos podem ser empregados para o início do cultivo, diversos protocolos voltados à desinfestação dos propágulos vegetativos podem ser utilizados. Todos eles têm o objetivo de eliminar as contaminações microbianas presentes no material, especialmente fungos, bactérias e leveduras, e permitir que o material propagativo escolhido possa ser estabelecido para o início do cultivo *in vitro*.

A assepsia dos propágulos vegetativos de bambu tem início a partir da coleta de brotações jovens (5-10 cm) de plantas matrizes em casa de vegetação, removendo-se parte das folhas, ainda em ambiente externo. As brotações obtidas são então levadas para o laboratório, onde as folhas e bainhas (que recobrem o broto) são retiradas no sentido da base para o ápice, de modo a obter somente a haste ou talo caulinar, contendo as gemas e/ou o ápice caulinar. Em seguida, com o auxílio de tesoura ou bisturi, as brotações são cortadas em tamanhos menores (0,5 a 1,0 cm), deixando-se pelo menos uma gema lateral, quando então são preparadas para a desinfestação em câmara de fluxo laminar.

O tempo de exposição dos explantes às substâncias desinfestantes, assim como a concentração a ser utilizada, depende do material em questão. Por tratar-se de material lenhoso (no caso de microestacas) e resistente (no caso de sementes), no Laboratório de Cultura de Tecidos II da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (LCTII/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia), o protocolo de desinfestação utilizado consiste na imersão dos propágulos (tanto sementes como microestacas) em álcool etílico (70%) por um



Figura 1. Aspectos da propagação *in vitro* de bambu

- (A) sementes de bambu como fonte de propágulos; (B) semente de bambu germinada *in vitro*; (C) planta de bambu originária de germinação; (D) Planta-matriz de bambu em casa de vegetação; (E) Microestacas coletadas de plantas matrizes como fonte de propágulo; (F) Microestaca estabelecida *in vitro*; (G) Microestaca estabelecida *in vitro* apresentando contaminação

minuto, seguido de 20 minutos em solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) (2,5% de cloro ativo), e/ou, cinco minutos em bicloreto de mercúrio (HgCl₂) (0,1%) e 60 minutos em solução fúngica (Carbendazim 1,0 mL/L). Um tempo maior de exposição ou o uso de concentrações mais elevadas dos produtos pode ocasionar a “queima” dos explantes ou causar injúrias às sementes, assim como aumentar a possibilidade de oxidação dos tecidos *in vitro*, inviabilizando o desenvolvimento posterior dos propágulos. Para a retirada do excesso dos produtos, tanto as brotações como as sementes são lavadas em água destilada e esterilizada por pelo menos três vezes. Em se utilizando microestacas com gema axilar, promove-se imediatamente o corte das extremidades destas afetadas pelos produtos desinfestantes (até 3 mm), sendo as mesmas individualmente transferidas para tubos de ensaio (25 x 150 mm) preenchidos com 10mL de meio de MS (Murashige & Skoog, 1962) para desenvolvimento.

Multiplicação/proliferação de brotos - Terminado o período de estabelecimento *in vitro*, que pode variar de quatro a oito semanas, os propágulos vegetati-



Figura 1 (continuação). Aspectos da propagação *in vitro* de bambu (H) Frascos com brotações de bambu sob multiplicação *in vitro*; (I) Aspecto de frascos de cultura líquida cultivados com bambu apresentando fraca, moderada ou forte oxidação fenólica; (J) Brotos de bambu apresentando folhas com coloração amarelada e meio de cultura oxidado, evidenciando culturas velhas; (K-L) biorreator R.I.T.A.® com propágulos de bambu sob multiplicação; (M) Calo primário induzido em bambu durante a indução da embriogênese somática, gênero *Guadua*; (N) Aspecto de calo embriogênico induzido em *Guadua* sp.; (O) Plantas de bambu provenientes da micropropagação aclimatizadas em casa de vegetação; (P) Aspecto de planta de bambu micropropagada em casa de vegetação apresentando perfilamento

vos livres de contaminação e com brotações aparentes e bem desenvolvidas são transferidos para meio de multiplicação, no qual, após quatro a 12 semanas, a depender da espécie, formam-se novas brotações a partir de múltiplas brotações axilares. Estas, por sua vez, podem ser novamente subcultivadas para obtenção de mais material propagativo. De fato, nesta etapa, inúmer

ros subcultivos podem ocorrer até se atingir o número desejado de plantas que, por serem multiplicadas vegetativamente por meio de tecido somático, garantem a obtenção de indivíduos com idêntica composição genética da planta-matriz (clone).

A etapa de multiplicação ocorre a partir do momento em que os explantes são inoculados em meio de cultura contendo citocininas, como 6-benzilaminopurina (BAP), cinetina (KIN), tiadizuron (TDZ) ou metatopolina (mT), podendo ser combinadas ou não com auxinas em baixas concentrações, como ácido naftalenoacético (ANA), ácido indolbutírico (AIB) e ácido indol-3-acético (AIA), dependendo da espécie e do tipo de explante utilizado (vide tabela 1).

No LCTII/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, os cultivos *in vitro* têm sido desenvolvidos em sala de crescimento com temperatura de 25 ± 2 °C, intensidade luminosa de $52 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e 16 horas de fotoperíodo. Por vezes com algumas variações, o meio de cultura básico utilizado para a multiplicação tem sido o de Murashige e Skoog (1962), de consistência líquida, acrescido de BAP ($3,0$ a $4,5 \text{ mg.L}^{-1}$) ou mT ($1,5$ a $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$). O pH é ajustado para $5,8 \pm 0,1$ antes da esterilização do meio de cultura, a qual é realizada por autoclavagem (121 °C por 20 minutos e sob $1,5$ atm). Em razão do vigoroso crescimento, nesta etapa utilizam-se frascos de maior capacidade em volume (600 a 800 mL) que os usados convencionalmente (250 mL), com os frascos preenchidos com 50 a 100 mL de meio de cultura.

Após geralmente quatro a oito semanas, os explantes primários e as brotações produzidas (agregados de brotos ou multibrotações) são individualizados ou divididos (sempre que possível) em agregados menores e/ou microestacas (dependendo da espécie), submetidos a uma poda das folhas (evitando a retirada completa) e raízes (deixando cerca de $1,0$ cm), além da retirada do excesso de porções oxidadas, e transferidos para novo meio de cultura, até que os mesmos procedimentos sejam novamente demandados. Sucessivas transferências das brotações para novo meio de mesma constituição são conhecidas como subcultivos, repicagens ou ciclos de multiplicação, os quais podem ter uma duração média de quatro, oito ou até dezesseis semanas, a depender da espécie trabalhada.

Os subcultivos são também necessários devido ao esgotamento dos constituintes do meio de cultura (carboidrato, sais minerais e vitaminas), além do acúmulo de compostos como o etileno e os polifenóis, que podem ser deletérios à cultura. Sugere-se que os subcultivos sejam limitados entre seis e oito para evitar ou reduzir a possibilidade de aparecimento de plantas atípicas e que, por segurança, o material vegetal seja renovado pelo menos uma vez por ano com novo estabelecimento de material do campo.

Mesmo que não haja contaminação aparente durante o estabelecimento do material vegetal *in vitro*, bactérias podem se desenvolver em subcultivos mais avançados de multiplicação. Por isso, para evitar que o trabalho de vários subcultivos seja prejudicado ou perdido com o aparecimento de contaminantes, testes simples de indexação dos materiais são indicados. Além de ser um indicativo da eficiência ou não do protocolo de descontaminação, a indexação do material após determinado período de estabelecimento e nos subcultivos é importante para indicar a fonte da contaminação, uma vez que o aparecimento de contaminantes durante o subcultivo pode ser um indicativo da manipulação inadequada do material pelos operadores (Camara et al., 2010).

Para a detecção dos contaminantes, recomenda-se o uso de meios de cultura enriquecidos, nos quais são semeadas ou cultivadas amostras do material em estudo. Partindo-se de material aparentemente asséptico e já estabelecido, a parte interna recém-dividida do explante no subcultivo é suavemente tocada com uma alça de platina ou com a lâmina do bisturi. Em seguida, a alça ou a lâmina é cuidadosamente colocada em contato com a superfície do meio de cultura escolhido para o teste, promovendo, assim, a semeadura de possíveis contaminantes. É possível também que essa semeadura seja feita de forma direta, tocando-se com a superfície do explante recém-cortado o meio de cultura enriquecido. Sinais de crescimento microbiano neste meio após alguns dias da semeadura são um indicativo de que o material está contaminado, embora em meio de estabelecimento ou de multiplicação esse aspecto possa não ser evidente (Scherwinski-Pereira & Alterthum, 2010).

Por outro lado, é possível fazer a indexação das plantas durante os subcultivos por meio de partes do explante. Este método consiste em cultivar as extremidades dos explantes no momento em que estes são subcultivados para um novo meio de cultura, preferencialmente enriquecido. Este método é mais confiável que o anterior pelo fato de que, havendo presença de contaminantes, estes se desenvolvem próximo ao explante, eliminando possíveis dúvidas sobre a origem da contaminação.

Enraizamento dos brotos - Durante a fase de multiplicação, o uso frequente de citocininas no meio de cultura, com o objetivo de incrementar as taxas de multiplicação, resulta muitas vezes em brotações de tamanho reduzido, desprovidas ou com poucas raízes e, não raramente, com raízes pouco funcionais, devido ao efeito cumulativo do regulador de crescimento. Assim, é sempre recomendável que uma fase intermediária de enraizamento seja realizada durante a micropropagação do bambu, uma vez que a obtenção de um

sistema radicular bem formado e funcional vai favorecer a sobrevivência e o crescimento *ex vitro* das plantas, evitando possíveis perdas por morte durante a aclimatização.

Em bambu, a maioria dos trabalhos de micropropagação tem realizado o enraizamento das brotações utilizando a formulação básica do meio de Murashige e Skoog (1962), com a suplementação do meio com auxinas exógenas, como ácido naftalenoacético (ANA) e ácido indolbutírico (AIB). Em alguns casos, a redução de 50% dos sais do meio de MS, bem como o uso do meio desprovido de auxinas também tem sido reportada.

Como regra geral, raízes curtas são mais desejáveis, pois, além de facilitarem seu manuseio no momento do plantio, normalmente estão numa fase de crescimento ativo, o que facilita a sobrevivência da planta. Por isso, discutem-se também os efeitos do tempo de permanência das brotações no meio de enraizamento com auxinas sobre a eficiência do enraizamento e posterior sobrevivência das plantas durante a aclimatização (Agnihotri & Nandi, 2009), uma vez que o aumento do tempo de permanência das raízes em meio de cultura pode proporcionar um rápido envelhecimento nas mesmas, tornando-as menos funcionais.

Entende-se que a etapa de enraizamento é uma etapa realizada classicamente sob condições *in vitro*, fato que, sem dúvida, aumenta o processo de manipulação e o tempo de permanência do cultivo *in vitro*, com conseqüente aumento dos custos de produção. Assim, embora pouco relatado na literatura, o enraizamento *ex vitro* diretamente em substrato pode ser uma alternativa para algumas espécies de bambu que apresentem facilidade de enraizamento e sobrevivência em casa de vegetação. Salienta-se, contudo, que o uso desta técnica de propagação vegetativa é altamente dependente do tipo de auxina ou substância indutora do enraizamento, do substrato a ser utilizado e das condições ambientais do local, os quais devem ser previamente definidos antes do início dos trabalhos (Scherwinski-Pereira & Fortes, 2004; Fermino Júnior et al., 2011).

Transplântio e aclimatização - A etapa de transplântio e aclimatização compreende a transferência das plantas produzidas em condições do cultivo *in vitro* para um ambiente externo (casa de vegetação) para seu crescimento e desenvolvimento. Trata-se de uma das etapas mais importantes do processo e deve ser feita com cuidado para evitar perdas significativas. Para laboratórios que produzem milhares de plantas micropropagadas regularmente, a otimização da fase de aclimatização é de fundamental importância para evitar esse prejuízo.

Durante as etapas *in vitro*, brotações e plantas de bambu se desenvolvem sob condições controladas e totalmente artificiais (temperatura 25 ± 2 °C; radiação luminosa em torno de $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; fotoperíodo de 16 horas). Então, quando são aclimatizadas, ficam sujeitas a forte estresse ambiental, que pode levar à morte. Além da baixa atividade fotossintética, as plantas produzidas *in vitro* apresentam modificações qualitativas e quantitativas em sua composição anatômica, ficando sensíveis a grandes perdas de água por transpiração, o que pode ocasionar baixa sobrevivência no transplantio. Assim, o sucesso final da micropropagação em bambu depende não apenas da correta condução das fases *in vitro*, mas, sobretudo, da capacidade das plantas produzidas em superar sua transferência para condições *ex vitro* (Valero-Aracama et al., 2007; Yokota et al., 2007).

Outro aspecto a ser considerado na fase de aclimatização refere-se ao padrão de crescimento. Ao sofrer mudança abrupta de ambiente, normalmente as plantas cessam ou reduzem o crescimento até que se adaptem às novas condições. Por outro lado, o rápido crescimento na aclimatização pode contribuir significativamente para que mudas micropropagadas sejam disponibilizadas aos interessados de forma mais rápida e barata. Para tanto, é fundamental otimizar as condições ambientais *in vitro* e *ex vitro*, cuidar do momento do transplantio, manejar corretamente e escolher adequadamente os substratos e recipientes (Scherwinski-Pereira et al., 2001a,b,c).

No caso dos substratos, suas propriedades físicas, químicas e biológicas podem facilitar ou limitar a sobrevivência, a formação de novas raízes e o crescimento das plantas. Além disso, a escolha dos materiais deve observar também seu custo e disponibilidade.

Para o bambu, o processo de aclimatização consiste basicamente na remoção das plantas dos frascos de cultivo, lavagem das raízes em água corrente para remoção do resíduo de meio de cultivo aderido, individualização das plantas, poda das raízes, transplantio para recipientes (tubetes ou bandejas coletivas) contendo substrato adequado e transferência para casa de vegetação ou telado. No LCTII/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, o substrato utilizado para a aclimatização tem sido a mistura de um substrato comercial (Bioplant®) e areia lavada, em volumes que variam de 1:1 a 3:1 v/v. Adicionalmente, antes de seguirem para a casa de vegetação, as mudas são pré-aclimatizadas por pelo menos duas a quatro semanas em câmaras de crescimento com temperatura, fotoperíodo e radiação controlados (25 ± 1 °C; $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 12 horas, respectivamente).

Em alguns casos, pode ser feita uma pré-aclimatização das mudas anteriormente ao transplantio pela abertura dos frascos ainda na sala de cresci-

mento por algumas horas ou mesmo dias, ou, ainda, pela utilização da luz solar ou natural na fase de enraizamento *in vitro* (Talavera et al., 2005). Tais práticas podem proporcionar bons resultados quanto à rusticificação¹ das plantas ainda *in vitro*.

TÉCNICAS AVANÇADAS PARA A PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE BAMBU EM LARGA ESCALA - A metodologia tradicional de micropropagação do bambu, descrita acima, baseia-se em cultivos realizados em pequenos recipientes e, a depender do protocolo utilizado, demanda grande mão-de-obra. Assim, parece evidente que tais métodos são ainda limitados técnica e economicamente quando se pensa em propagação comercial e produção em massa de mudas. É imprescindível, portanto, que se avance nos trabalhos sobre a propagação *in vitro* de bambu pelo aprofundamento das questões de viabilidade de tais protocolos para produção de mudas em larga escala, utilizando-se para isso técnicas como cultivo em suspensão e meios de cultura de consistência líquida, biorreatores e embriogênese somática.

Meios de consistência líquida - Na busca da maior eficiência no processo de propagação de plantas em laboratório, pesquisadores têm testado a substituição do meio gelificado pelo meio líquido. Apesar de meios líquidos serem citados desde os primórdios da cultura de tecidos de plantas com os trabalhos de Haberlandt (1902), as discussões sobre o uso de meios de consistência líquida para a rápida propagação de plantas tiveram início na década de 1970, quando Ben-Jaacov e Langhans (1972) estimaram que o uso de meios líquidos e cultivos em suspensão em crisântemo poderiam proporcionar a produção anual de até 100 mil novas plantas, partindo-se de um único propágulo estabelecido *in vitro*. De fato, o uso de meios líquidos pode proporcionar incrementos significativos na taxa de multiplicação vegetal, a depender da espécie desejada, uma vez que nem todas elas podem ser adaptadas ao sistema líquido.

A utilização dos meios líquidos pode reduzir os custos de produção de plantas *in vitro*, além de permitir a automação (Alvard et al., 1993). O meio líquido oferece condições uniformes às culturas, podendo ser facilmente renovado sem alterar o recipiente. Além disso, também facilita o uso de um maior volume de meio – possibilitando o uso de recipientes maiores do que quando se usa meios gelificados – e reduz o tempo de transferência dos propágulos nos subcultivos, já que não há necessidade de posicionar o explante

¹ Prática ou conjunto de práticas para tornar as plantas mais resistentes às diferentes condições de estresse que podem ocorrer no pós-plantio.



de maneira vertical, apenas colocá-lo em contato com o meio. Note-se também que várias espécies apresentam melhor desempenho propagativo quando cultivadas em meio líquido, devido ao maior contato dos explantes com o meio de cultura e, portanto, a maior disponibilidade de nutrientes para os cultivos (Berthouly & Etienne, 2005; García-Ramírez et al., 2011).

Apesar dos resultados promissores, o uso de sistemas utilizando meios líquidos ainda não é uma técnica rotineira para a propagação de espécies de maior interesse econômico, embora para a cultura de bambu já seja uma realidade, com protocolos bastante adiantados quanto ao seu uso (vide tabela 1).

Embriogênese somática - Embriogênese somática, adventícia ou assexual é o processo pelo qual embriões se desenvolvem a partir de tecidos somáticos, com estrutura genética semelhante ao material de origem (Williams & Maheswaran, 1986). Uma particularidade dos embriões somáticos é a similaridade com os embriões zigóticos encontrados naturalmente – aliada à sua bipolaridade (estrutura constituída de ápice caulinar e radicular), essa característica os difere dos propágulos obtidos por organogênese e torna-os capazes de originar plantas completas (Dodeman et al., 1997).

De fato, a embriogênese somática é uma das técnicas de micropropagação mais promissoras dos últimos tempos (Saleh & Scherwinski-Pereira, 2016). Uma vez dominada para a espécie que se quer trabalhar, a técnica apresenta inúmeras vantagens em relação aos métodos tradicionais de propagação *in vitro*, entre as quais se pode destacar a possibilidade de multiplicação em larga escala de plantas-matrizes selecionadas, a produção de um elevado número de propágulos (embriões somáticos) em pequenos espaços físicos, a possibilidade de armazenamento dos propágulos por médio-longo período de tempo via manutenção de coleções *in vitro* e criopreservação e a sincronização da produção das mudas, além da possibilidade de um alto grau de automatização do processo pelo uso, por exemplo, de biorreatores (Von Arnold, 2008; Zimmermann, 2014).

Em bambu, a produção de embriões somáticos e regeneração destes em plantas utilizando-se propágulos, como embriões zigóticos maduros e imaturos, anteras, inflorescências, folhas e sementes já foram descritas na literatura (tabela 2). Portanto, a escolha de um ou outro explante para o início dos trabalhos pode depender não somente da espécie a ser trabalhada, mas também da disponibilidade de materiais que servirão como propágulos. Explantes provenientes de sementes e inflorescências, por exemplo, apesar de serem responsivos para trabalhos de embriogênese somática, podem ser limitantes em razão da baixa disponibilidade de acesso.

Como diferentes tipos de propágulos podem ser utilizados para a indução da embriogênese somática, a literatura também é farta quanto aos protocolos utilizados. No entanto, basicamente os processos de indução, multiplicação, diferenciação e regeneração dos embriões somáticos são realizados em meios de cultura específicos para cada etapa.

Durante as diferentes fases do processo embriogênico, podem ser utilizados diferentes meios nutritivos de cultivo, como o de MS, N6, ou ainda o B5. No entanto, o meio de MS parece ser o mais utilizado, proporcionando respostas positivas nas diferentes fases do processo. Vale notar que cada etapa é dependente do coerente balanço de reguladores de crescimento – calos embriogênicos em bambu são induzidos, usualmente, em meio de cultura com auxinas (como 2,4-D, picloram e dicamba) em concentrações variadas, a depender da espécie e do tipo de propágulo utilizado. Assim como na maioria dos trabalhos que utilizam a embriogênese somática para a propagação de plantas, os estágios posteriores de multiplicação, diferenciação e regeneração de bambus são geralmente alcançados com a redução das concentrações de auxinas e o aumento de citocininas no meio de cultura. No LCTII/ Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, a indução de calos primários e embriogênicos em espécies do gênero *Guadua* tem sido obtida com o uso do meio de MS adicionado de picloram e 2,4-D, cujas concentrações são diminuídas no decorrer das etapas.

Finalmente, é importante ressaltar que, apesar do potencial de utilização e da grande aplicabilidade futura da técnica, os trabalhos de embriogênese somática em bambu ainda estão engatinhando quanto ao seu uso e aplicação em nível comercial. Faz-se necessária reforçada carga de pesquisa científica para que novos e mais eficientes protocolos sejam desenvolvidos.

Uso de biorreatores - Embora seja um termo facilmente identificável por profissionais da área, o termo “biorreatores” é difícil de ser conceituado precisamente. Seu uso parte da tentativa de se aperfeiçoar a produção de plantas *in vitro*, uma vez que sua grande vantagem como sistema de propagação é a possibilidade de reduzir a necessidade de manipulação dos cultivos e os custos de mão-de-obra, além de permitir a semiautomatização de etapas da produção. Essas estruturas utilizam meios nutritivos de consistência líquida e podem ser de imersão temporária ou permanente (Teisson et al., 1995).

Os biorreatores foram originalmente desenvolvidos para o cultivo de células vivas e microrganismos visando à fermentação e à produção de metabólitos secundários para fins industriais. Um dos primeiros relatos sobre o uso de biorreatores foi feito por Takayama e Misawa (1981) na propagação *in*

vitro de begônias. Desde então, vem crescendo a utilização de biorreatores na produção de mudas em larga escala de diversas espécies vegetais.

Diversas vantagens são atribuídas ao uso de biorreatores na micropropagação de plantas, destacando-se: o aumento do controle das condições de cultivo *in vitro*; a possibilidade de renovação da atmosfera das culturas; a redução da quantidade de recipientes utilizados e do espaço laboratorial necessário; a facilidade de manipulação das culturas; a facilidade de as culturas absorverem nutrientes pelo contato quase constante de toda superfície do explante com o meio nutritivo, aumentando as taxas de crescimento e de biomassa dos cultivos; a estimulação do crescimento das plantas pelo espaço maior proporcionado pelo sistema; e a possibilidade de mudança e adequação do meio de cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento (Teixeira & Cid, 2014).

A maioria dos trabalhos existentes baseia-se no uso de biorreatores de imersão temporária, que podem se apresentar em diversas formas e modelos. Apesar das importantes vantagens, o número de trabalhos com biorreatores para a cultura do bambu ainda é ínfimo – o que sugere ser este um campo a ser explorado.

Conclusões

A literatura tem sido farta em mostrar as vantagens e limitações do uso de técnicas de micropropagação para a reprodução vegetativa de um grande número de espécies de plantas. Em bambu, diversos protocolos básicos referentes à propagação *in vitro* também vêm sendo publicados, e seu desafio é tornar a técnica eficiente para a produção de mudas em larga escala, atingindo milhares de plantas por ano. Dado que as técnicas clássicas são pouco produtivas, a micropropagação é, entre as técnicas conhecidas, possivelmente a única capaz de permitir que o bambu seja propagado em tal escala para atender a demanda de um negócio cada vez mais exigente quanto à quantidade e qualidade de mudas. Assim, parece evidente que o aperfeiçoamento de etapas dos protocolos de micropropagação convencionais, sobretudo a de estabelecimento *in vitro*, o uso de meios líquidos e o desenvolvimento de protocolos para a propagação por embriogênese somática, associados ao uso de biorreatores, parecem ser o caminho estratégico para que a cultura seja produzida em escala comercial.

Agradecimentos

Ao CNPq (Processo nº. 458151/2013-0), pelo apoio financeiro e concessão de bolsas de estudo envolvidas no projeto.

Referências bibliográficas

- AFONSO, D. G. Bambu nativo (*Guadua* spp.): Alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o Estado do Acre. Tese de Mestrado, UFPR, Curitiba – PR, 2011.
- AGNIHOTRI, R. K.; NANDI, S. K. *In vitro* shot cut: a high frequency multiplication and rooting method in the bamboo *Dendrocalamus hamiltonii*. **Biotechnology**, v.8, n.2, p.259-263, 2009.
- ALVARD, D.; COTE, F.; TEISSON, C. Comparison of methods of liquid medium cultures for banana micropropagation: effect of temporary immersion of explants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.32, p.55-60, janeiro 1993.
- BAG, N.; PALNI, L. M. S.; CHANDRA, S.; NANDI, S. K. Somatic embryogenesis in ‘maggar’ bamboo (*Dendrocalamus hamiltonii*) and field performance of regenerated plants. **Current Science**, v.102, n.9, p.1279-1287, maio 2012.
- BAKSHI, M.; TIWARI, C.; RAZVI, S. Conservation of an important montane bamboo *Thamnochlamus falconeri*, Hook.f. ex Munro through axillary bud proliferation. **Journal of Forestry Research**, v.26, n.1, p.179-185, março 2015.
- BEN-JAACOV, J.; LANGHANS, R. W. Rapid multiplication of Chrysanthemum plants by stem-tip proliferation. **HortScience**, n.7, p.289-290, 1972.
- BERTHOULY, M.; ETIENNE, H. Temporary immersion system: a new concept for use liquid medium in mass propagation. In: Hvoslef-Eide A.K.; Preil W. (ed.). **Liquid culture systems for in vitro plant propagation**. Dordrecht: Springer, p.165-195, 2005.
- BRAR, J.; SHAFI, A.; SOOD, P.; ANAND, M.; SOOD, A. *In vitro* propagation, biochemical studies and assessment of clonal fidelity through molecular markers in *Bambusa balcooa*. **Journal of Tropical Forest Science**, v.26, n.1, p.115-124, janeiro, 2014.
- CAMARA, T. R.; WILLADINO, L.; ALBUQUERQUE, C. C. Microrganismos assintomáticos do cultivo *in vitro*: natureza e riscos para o cultivo de plantas. In: Scherwinski-Pereira, J. E. (Org.). **Contaminações microbianas na cultura de células, tecidos e órgãos de plantas**. 1ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, v.1, p. 221-260.
- DEBERGH, P. C.; MAENE, L. J. A scheme for commercial propagation for ornamental plants by tissue culture. **Scientia Horticulturae**, n.14, p.335- 345, abril, 1981.
- DODEMAN, V. L.; DUCREX, G.; KREIS, M. Zygotic embryogenesis versus somatic embryogenesis. **Journal Experimental Botany**, v.48, p.1493-1509, agosto, 1997.
- FIALHO, E. D.; DA SILVA, A. L. P.; TONHOLO, J. Desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu: uma oportunidade para empreender. In: **XI Seminário Ibero-Latinoamericano de Gestión Tecnológica**, Salvador, Bahia, p.1-10, 2005.
- FONSECA, F. K. P. Produção de mudas de bambu *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae) por propagação vegetativa. Rio Largo, AL. Dissertação de Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal. Universidade Federal de Alagoas, 2007.



- GARCÍA-RAMÍREZ, Y.; GONZÁLES, M. G.; MENDOZA, E. Q.; SEIJO, M. F.; CÁRDENAS, M. L. O.; MORENO-BERMÚDEZ, L. J.; RIBALTA, O. H. Effect of BA treatments on morphology and physiology of proliferated shoots of *Bambusa vulgaris* Schrad. Ex Wendl in temporary immersion. **American Journal of Plant Sciences**, v.5, p.205-211, janeiro, 2014.
- FERMINO JR, P. C. P.; RAPOSO, A.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Enraizamento *ex vitro* e aclimatização de plantas micropropagadas de teca (*Tectona grandis* L.). **Floresta**, v.41, p.79-86, 2011.
- GILLIS, K.; GIBLIS, J.; PEETERS, H.; DHOOGHE, E.; OPRINS, J. Somatic embryogenesis from mature *Bambusa balcooa* Roxburgh as basis for mass production of elite forestry bamboos. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.91, p.115-123, novembro, 2007.
- GODBOLE, S.; SOOD, A.; THAKUR, R.; SHARMA, M.; AHUJA, P. S. Somatic embryogenesis and its conversion into plantlets in a multipurpose bamboo, *Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. Ex Munro. **Current Science**, v.83, n.7, p.885-889, outubro, 2002.
- GOYAL, A. K.; PRADHAN, S.; BASISTHA, B. C.; SEM, A. Micropropagation and assessment of genetic fidelity of *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) nees using RAPD and ISSR markers. 3 **Biotech**, v.5, n.4, p.473-482, agosto, 2015.
- HU, S.; ZHOU, J.; CAO, Y.; LU, X.; DUAN, N.; REN, P.; CHEN, K. *In vitro* callus induction and plant regeneration from mature seed embryo and young shoots in a giant sympodial bamboo, *Dendrocalamus farinosus* (Keng et Keng f.) Chia et H.L. Fung. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n.16, p.3210-3215, abril, 2011.
- KALAIARASI, K.; SANGEETHA, P.; SUBRAMANIAM, S.; VENKATACHALAM, P. Development of an efficient protocol for plant regeneration from nodal explants of recalcitrant bamboo (*Bambusa arundinacea* Retz. Willd) and assessment of genetic fidelity by DNA markers. **Agroforestry Systems**, v.88, p.527-537, junho, 2014.
- KAVITHA; B. M.; KIRAN, S. An efficient technique for *in vitro* propagation of *Dendrocalamus brandisii* Kurz using nodal segments. **Global Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.2, n.1, p.1-10, 2014.
- KELCHNER, S. A. & BAMBOO PHYLOGENY GROUP. Higher level phylogenetic relationships within the bamboos (Poaceae: Bambusoideae) based on five plastid markers. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v.67, p. 404-413, maio, 2013.
- KUMAR, V.; BANERJEE, M. Albino regenerants proliferation of *Dendrocalamus asper* *in vitro*. **World Journal of Agricultural Sciences**, v.10, n.1, p.09-13, 2014.
- LIN X.; HUANG, L.; FANG W. (2012). Bamboo regeneration via embryogenesis and organogenesis. In: Sato, K. I. (Org). Embryogenesis. 1ed. Rijeka: **Intech**, 2012, v.1, p.359-372.
- LIN, C.; LIN, C.; CHANG, W. Effect of thidiazuron on vegetative tissue-derived somatic embryogenesis and flowering of bamboo *Bambusa edulis*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.76, p.75-82, janeiro, 2004.
- MEHTA, R.; SHARMA, V.; SOOD, A.; SHARMA, M.; SHARMA, R. K. Induction of somatic embryogenesis and analysis of genetic fidelity of *in vitro*-derived plantlets of *Bambusa nutans* Wall., using AFLP markers. **European Journal of Forest Research**, v.130, p.729-736, setembro, 2011.
- MUDOI, K. D.; SAIKIA, S. P.; GOSWAMI, A.; GOGOI, A.; BORA, D.; BORTHAKUR, M. Micropropagation of important bamboos: a review. **African Journal of Biotechnology**, v.12, n.20, p. 2770-2785, maio, 2013.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v.15, p.473-497, julho, 1962.

- OLIVEIRA, J. F.; LEMOS, E. E. P.; REZENDE, L. P. Desenvolvimento de métodos de micropropagação para produção de mudas de Bambu – *Bambusa nutans* G.C. Wall Ex Munro. **Ciência Agrícola**, v.10, n.1, p.25-29, 2012.
- QIAO, G.; LI, H.; LIU, M.; JIANG, J.; YIN, Y.; ZHANG, L.; ZHUO, R. Callus induction and plant regeneration from anthers of *Dendrocalamus latiflorus* Munro. **In Vitro Cellular Development Biology** – Plant, v.49, p.375-382, agosto, 2013.
- ROUT, G. R.; DAS, P. Somatic embryogenesis and *in vitro* flowering of 3 species of bamboo. **Plant Cell Reports**, v.13, p.683-686, setembro, 1994.
- SALEH, E. O. L.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Advances in somatic embryogenesis of palm trees (Arecaceae): fundamentals and review of protocols. In: Mujib, A. (Org.). Somatic Embryogenesis in Ornamentals and Its Applications. 1ed. **New Delhi: Springer**, 2016, v.1, p.231-254.
- SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; FORTES, G. R. L.; SILVA, J. B. Baixa temperatura para explantes do porta-enxerto de macieira Marubakaido *in vitro* durante a aclimatização. **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p. 401-405, abril-junho 2001a.
- SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; FORTES, G. R. L.; SILVA, J. B. Efeito da baixa temperatura em plantas de macieira sobre o crescimento durante a aclimatização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p. 89-95, janeiro 2001b.
- SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; FORTES, G. R. L.; SILVA, J. B. Crescimento de plantas micropropagadas de macieira em casa de vegetação com aplicações de ácido giberélico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.6, p.881-886, junho 2001c.
- SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; FORTES, G. R. L. Produção de mudas pré-básicas de batatas por estaquia a partir de plantas micropropagadas. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.186-192, abril-junho, 2004.
- SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; ALTERTHUM, F. Detecção, isolamento e preservação de microrganismos contaminantes da cultura de células, tecidos e órgãos de plantas. In: Jonny Everson Scherwinski-Pereira. (Org.). **Contaminações microbianas na cultura de células, tecidos e órgãos de plantas**. 1ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010, v.1, p. 163-185.
- SINGH S. R.; SINGH R.; SANJAY KALIA S.; DALAL S. DHAWAN A. K.; KALIA, R. K. Limitations, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo – a plant with extraordinary qualities. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.19, n.1, p. 21-41, janeiro 2013.
- SINGH, S. R.; DALAL, S.; SINGH, R.; DHAWAN, A. K.; KALIA, R. K. Seasonal influences on *in vitro* bud break in *Dendrocalamus hamiltonii* Arn. Ex Munro nodal explants and effect of culture microenvironment on large scale shoot multiplication and plantlet regeneration. **Indian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.9-21, 2012.
- SINGH, S. R.; DALAL, S.; SINGH, R.; DHAWAN, K.; KALIA, R. K. Ascertaining clonal fidelity of micropropagated plants of *Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. ex Munro using molecular markers *In Vitro Cellular and Development Biology* – **Plant**, v.49, p.572-583, novembro, 2013.
- TAKAYAMA S.; MISAWA, M. Mass propagation of *Begonia x hiemalis* plantlets by shake culture. **Plant Cell Physiology**, v.22, n.3, p.461-467, maio, 1981.
- TALAVERA, C.; CONTRERAS, F.; ESPADAS, F.; FUENTES, G.; SANTAMARÍA, J. M. Cultivating *in vitro* coconut palms (*Cocos nucifera*) under glasshouse conditions with natural light, improves *in vitro* photosynthesis nursery survival and growth. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.83, n.3, p.287-292, dezembro, 2005.



- TEISSON, C.; ALVARD, D.; BERTHOULY, M.; COTE, F.; ESCALANT, J. V.; ETIENNE, H. *In vitro* culture by temporary immersion: a new device. **Plantations, Recherche, Developpement**, v.2, n.5, p.32-33, outubro, 1995.
- TEIXEIRA, J. B.; CID, L. P. B. Biorreatores para produção de mudas em larga escala. In: CID, L. P. B. (Ed.). **Cultivo in vitro de plantas**. 3. edição, Embrapa Informação Tecnológica: Brasília - DF, p.159-178.
- VALERO-ARACAMA, G.; WILSON, S. B.; KANE, M. E.; PHILMAN, N. L. Influence of *in vitro* growth conditions on *in vitro* and *ex vitro* photosynthetic rates of easy - and difficult-to-acclimatize sea oats (*Uniola paniculata* L.) genotypes. **In Vitro Cellular and Development Biology - Plant**, v.43, n.3, p.237-246, junho, 2007.
- VON ARNOLD, S. Somatic embryogenesis. In: GEORGE, E. F, HALL, M. A, DE KLERK, G. J. (eds.). **Plant propagation by tissue culture**. 3rd ed. Springer, Dordrecht, p.335-354, 2008.
- WAIKHOM, S. D.; LOUIS, B. An effective protocol for micropropagation of edible bamboo species (*Bambusa tulda* and *Melocanna baccifera*) through nodal culture. **The Scientific World Journal**, v.2014, p.1-8, maio, 2014.
- WEI, Q.; GAO, J.; QIAN, W.; XU, M.; LI, Z.; DING, Y. Establishment of an efficient micropropagation and callus regeneration system from the axillary buds of *Bambusa ventricosa*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.122, n.1, p.1-8, julho, 2015.
- WILLIAMS, E. S.; MAHESWARAN, B. Somatic embryogenesis: factors influencing coordinated behavior of cells as an embryogenic group. **Annals of Botany**, v.57, n.4, p.443-462, abril, 1986.
- YANG, H. Q.; YANG, J. B.; PENG, Z. H.; GAO, J.; YANG, Y. M.; PENG, S.; LI, D. Z. A molecular phylogenetic and fruit evolutionary analysis of the major groups of the paleotropical woody bamboos (Gramineae: Bambusoideae) based on nuclear ITS, GBSSI gene and plastid trnL-F DNA sequences. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v.48, n.3, p. 809-824, setembro, 2008.
- YEH, M.; CHANG, W. Somatic embryogenesis and subsequent plant regeneration from inflorescence callus of *Bambusa beecheyana* Munro var. *beecheyana*. **Plant Cell Reports**, v.5, n.6, p.409-411, dezembro, 1986a.
- YEH, M.; CHANG, W. Plant regeneration through somatic embryogenesis in callus culture of green bamboo (*Bambusa oldhamii* Munro). **Theoretical and Applied Genetics**, v.73, n.2, p.161-163, dezembro, 1986b.
- YOKOTA, S.; KARIM, M. Z.; AZAD, M. A. K.; RAHMAN, M. M.; EIZAWA, J.; SAITO, Y.; ISHIGURI, F.; IIZUKA, K.; YAHARA, S.; YOSHIZAWA, N. Histological observation of changes in leaf structure during successive micropropagation stages in *Aralia elata* and *Phellodendron amurense*. **Plant Biotechnology**, v.24, n.2, p.221-226, dezembro, 2007.
- YUAN, J.-L.; GU, X.-P.; LI, L. B.; YUE, J. J.; YAO, N.; GUO, G. P. Callus induction and plantlet regeneration of *Bambusa multiplex*. **Scientia Silvae Sinicae**, v.45, n.3, p.35-39, 2009.
- YUAN J.-L.; YUE, J.-J.; WU, X.-L.; GU, X.-P. Protocol for callus induction and somatic embryogenesis in moso bamboo. **PLoS ONE**, v.8, n.12, e81954, dezembro, 2013.
- ZHANG, N.; FANG, W.; SHI, Y.; LIU, Q.; YANG, H.; GUI, R.; LIN, X. Somatic embryogenesis and organogenesis in *Dendrocalamus hamiltonii*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.103, n.3, p. 325-332, dezembro, 2010.
- ZIMMERMANN, M. J. Embriogênese somática. In: CID, L. P. B. (Ed.). **Cultivo in vitro de plantas**. 3ª edição, Embrapa Informação Tecnológica: Brasília - DF, p.69-103.



Influência de espécies de bambu como alimento no crescimento populacional e na preferência alimentar do caruncho-do-bambu

Edilson Soares da Silveira⁽¹⁾, Antonia Railda Roel⁽²⁾,
Vitor Hugo dos Santos Brito⁽²⁾, Hemerson Pistori⁽²⁾ e
Marney Pascoli Cereda⁽²⁾⁽³⁾

⁽¹⁾ Instituto Federal de Mato Grosso do Sul. Rua Treze de maio, 3072, Centro, CEP 79002-356, Campo Grande, MS, Brasil. E-mail: edilson.silveira@ifms.edu.br

⁽²⁾ Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Av. Tamandaré, 6000, JD Seminário, CEP 79117-900, Campo Grande, MS, Brasil. E-mails: arroel@cdb.br, britovhs@gmail.com, pistori@ucdb.br, cereda@ucdb.br

⁽³⁾ Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio, Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: cereda@ucdb.br

Resumo – Neste artigo investigou-se a influência de três espécies de bambus (*Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris* var. *vittata* e *Bambusa multiplex*) no crescimento populacional e na preferência alimentar do caruncho *Dinoderus minutus* (Fabr.), visando determinar a resistência do inseto à praga, bem como o material mais adequado para a sua criação. Os bambus coletados foram secos em estufa a 50 ± 3 °C por 48 horas. Para avaliação do crescimento populacional, foram utilizados recipientes de vidro, introduzindo-se em cada um deles 20 carunchos não sexados e oito toletes de bambu, por espécie. Os frascos foram posteriormente colocados em uma câmara (temperatura 28 ± 2 °C, umidade $75 \pm 5\%$; fotofase 12 horas) por 70 dias. No experimento foram feitos três tratamentos (espécies de bambu), cada um com três repetições (oito toletes/recipiente de vidro). Ao final do período de infestação, os toletes foram retirados dos recipientes para contagem dos insetos. Para avaliação da preferência alimentar foram utilizados 120 carunchos e quatro toletes de cada espécie de bambu, dispostos alternadamente em uma arena de experimentos. Os insetos foram liberados no centro da arena e após 24 horas os toletes foram retirados para contagem dos carunchos. Os resultados de ambos os experimentos mostraram maior preferência alimentar e aumento significativo na população de carunchos apenas sobre os toletes de *B. vulgaris*, sugerindo que essa espécie pode ser eficaz na criação massal de *D. minutus*. Os resultados também apontaram que, entre as espécies de bambu pesquisadas, o bambu *B. multiplex* demonstra ser o mais resistente ao ataque de carunchos.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: PRAGA DO BAMBU, *DINODERUS MINUTUS*, *BAMBUSA VULGARIS*, *BAMBUSA VULGARIS* VAR. *VITTATA*, *BAMBUSA MULTIPLEX*.



Influence on population growth and food preference of bamboo borer feed with three bamboos species

Abstract – We investigated in this article the influence of three species of bamboo (*Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris* var. *vittata* and *Bambusa multiplex*) in the *Dinoderus minutus*' borer population growth and food preference (Fabr.), in order to determine the insect pest resistance, as well as the most suitable material for its rearing. The bamboos collected were dried in a stove at 50 ± 3 °C for 48 hours. For means of evaluation of population growth, glass containers were used, introducing in each of them 20 unsexed borers and eight bamboo stalks separately by species. The vials were then placed in a chamber (temperature 28 ± 2 °C, humidity $75\pm 5\%$; 12 hours photoperiod) for 70 days. The experiment consisted of three treatments (species of bamboo) with three repetitions (eight stalks/glass container) per treatment. At the end of infestation period, the stalks were removed from the containers so that the insects could be counted. To assess food preference 120 borers and four stalks of each species of bamboo were used, alternately arranged in an arena of experiments. The insects were released in the center of the arena and after 24 hours the stalks were removed so that the borers could be counted. The results of both experiments showed greater food preference and significant increase in the population of borers only on the stalks of *B. vulgaris*, suggesting that this species may be effective in *D. minutus* mass production. The results also showed that *B. multiplex* bamboo proves to be the most resistant to borers attack among the species of bamboos researched.

INDEX TERMS: BAMBOO PEST, DINODERUS MINUTUS, BAMBUSA VULGARIS, BAMBUSA VULGARIS VAR. VITTATA, BAMBUSA MULTIPLEX.

Introdução

O bambu é uma planta angiosperma, monocotiledônea, da família Poaceae (Gramineae), subfamília Bambusoideae, que é dividida em duas tribos: Olyreae – que compreende os bambus herbáceos com 21 gêneros e 122 espécies – e Bambuseae – composta por bambus lenhosos, que incluem 66 gêneros e 784 espécies – (GPWG, 2001).

Matéria-prima abundante na natureza, de crescimento rápido e fácil manejo, o bambu é cultivado em várias regiões do mundo, como a Ásia, e em di-

versos países, como Peru, Equador, Costa Rica e Colômbia. Quando utilizado na construção civil, esse vegetal oferece alto nível de qualidade e baixo custo econômico (Silva, 2005).

Grande parte das espécies encontradas no Brasil é exótica, destacando-se *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris*, *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus* e algumas do gênero *Phyllostachys* (Azzini et al., 1997). Ainda segundo os autores, as espécies de bambus mais plantadas no Brasil são *B. vulgaris* var. *vittata*, *B. multiplex*, *Phyllostachys* sp., *D. giganteus* Munro e *B. vulgaris* Schard. ex. Wendl.

De origem incerta, supõe-se que o bambu *B. vulgaris* tenha sido introduzido no Brasil pelos colonizadores portugueses e que seja uma espécie nativa do Velho Mundo, mais especificamente do sul da China e da Ilha de Madagascar (Tombolato et al., 2012). Ainda segundo os autores, essa espécie é conhecida como bambu-açu ou gigante-verde, com touceiras de grande porte, de até 25 metros de altura, e colmos que podem atingir até 12 centímetros de diâmetro na base. Apresenta coloração verde-escura e se desenvolve melhor em pleno sol, com tolerância a temperaturas de até 3 °C, sendo muito utilizada na produção de papel e na construção civil. O maior impedimento para o uso de *B. vulgaris*, muito abundante em áreas tropicais e subtropicais, é sua elevada susceptibilidade ao ataque pelo caruncho *Dinoderus minutus* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae), resultando em perdas irre recuperáveis dos materiais usados em artesanatos ou na construção civil (Seddon & Faizool, 1993). Em áreas de armazenamento de varas cortadas de bambu, esse caruncho pode tornar-se abundante e causar sérios danos, a ponto de reduzir o bambu a pó ou fibras.

O bambu *B. vulgaris* var. *vittata* (McClure) apresenta as sinônimas *B. vulgaris* var. *aureovariegata* Beadle e *B. vulgaris* var. *striata* (Lodd. ex Lindl.) Gamble e os seguintes nomes populares: bambu-brasil, brasileirinho, gigante-verde-amarelo e bambu-imperial (Lobovikov et al., 2007). Essa variedade de bambu pode atingir até 17 metros de altura e 16 centímetros de diâmetro, com colmos posicionados a 1 metro do solo e fibras de excelente resistência, podendo também ser utilizado na fabricação de carvão (Albertini, 1979). Experimentos para obtenção de carvão com amostras de *Eucalyptus urophylla* e de bambus *B. vulgaris* var. *vittata*, *B. vulgaris*, *B. tuldoides*, *D. giganteus* e *Guadua angustifolia* relatam que o carvão de bambu apresentou maior densidade e maior teor de cinzas em relação ao carvão de madeira (Brito et al., 2004).

O bambu *B. multiplex* (Lour.) Raeusch possui origem chinesa e é encontrado no Brasil em grande abundância na região Sudeste (Rio de Janeiro e São Paulo), sendo predominante na mata atlântica. Essa espécie é conhecida



vulgarmente como bambu-multiplex, bambu-folha-de-samambaia ou taquara (Tombolato et al., 2012). Ainda segundo os autores, *B. multiplex* apresenta touceiras de pequeno porte, com até 6 metros de altura. O diâmetro dos colmos na base pode atingir 2,5 centímetros. A peculiaridade da coloração e a forma de sua folhagem tornam essa espécie um elemento de destaque em projetos paisagísticos. Suas folhas são semelhantes, quanto à forma, ao padrão de folhas de samambaia, de coloração azulada na face abaxial das lâminas. É tolerante à sombra, porém se desenvolve melhor em locais de grande luminosidade e suporta temperaturas de até -10 °C. Na Europa e nos Estados Unidos, é também utilizada na confecção de cercas e telas. É uma espécie indicada para cultivo em vasos, graças ao seu pequeno porte. Por apresentar rizomas paquimorfos (crescem em moitas), possui menor eficiência na contenção de processos erosivos do que as espécies de rizoma leptomorfo (alastrante) (Stokes et al., 2007).

Os bambus apresentam baixa durabilidade natural, não produzindo toxinas durante sua vida, o que favorece sua degradação por agentes biológicos (Liese, 2004). Algumas medidas preventivas podem minimizar os danos causados pelos carunchos, como a colheita de colmos maduros no período de seca (Galvão et al., 2004). A colheita deve ser feita de acordo com as fases da lua, sendo a lua cheia a melhor fase para realizar o corte (Sarlo, 2000). Segundo experimentos da autora, essa fase propicia menores quantidades médias de furos em bambus e de insetos adultos, além de outros fatores também serem capazes de influenciar no ataque, como o clima e o tipo de transporte e de armazenamento do bambu.

Dependendo das condições de armazenamento pós-colheita, o bambu pode apresentar grande suscetibilidade ao ataque de caruncho, principalmente *D. minutus*, tanto em colmos como em produtos acabados, diminuindo o período de conservação do material (Singh & Bhandari, 1988). O grau de ataque varia entre as diferentes espécies de bambu e locais de crescimento vegetativo. Há relatos de que o ataque de carunchos em regiões tropicais ocorre preferencialmente nas estações quentes e úmidas (Hidalgo-Lopez, 2003).

Para Borgemeister et al. (1999), *D. minutus* é um besouro amplamente distribuído nos trópicos. O principal problema desse caruncho é seu potencial de ataque em relação a alguns produtos de subsistência, como batata, cereais, mandioca, milho, inhame e, principalmente, o bambu pós-colheita (Plank, 1948). Apesar do nome popular caruncho-do-bambu, essa espécie prolifera também em lâminas de bambu armazenadas, causando prejuízos às indústrias de compensados, laminados e móveis.

O caruncho-do-bambu passou a ser considerado uma praga após as grandes infestações de milho armazenado no sul da Tanzânia e no norte de Zâmbia (Rees, 1991). Esses insetos também foram encontrados em Gana e têm atacado produtos armazenados em fazendas no país. Essas regiões tropicais, assim como o Brasil, são propícias ao seu desenvolvimento populacional.

D. minutus é um coleóptero cosmopolita, adaptando-se muito facilmente a diferentes regiões do mundo, sendo comum em estoques de bambu e alimentos secos (Spilman, 1982). Myers (1934), que identificou esse besouro durante suas viagens a bordo de um navio que transportava arroz da Birmânia para Trinidad e Tobago, relatou o ataque desse caruncho ao bambu que, juntamente com *Dinoderus japonicus*, *D. ocellaris* e *D. brevis*, é responsável por mais de 90% de danos de insetos em colmos colhidos e produtos acabados.

Essa espécie diferencia-se dos demais bostríquídeos pelas duas suaves depressões arredondadas no dorso do pronoto, bem como nas extremidades próximas aos élitros (Lopez, 1974). O adulto desse inseto é um besourinho de coloração marrom-escura, com cerca de 3 mm de comprimento (figura 1), cujas larvas, de coloração branca, atacam o bambu depois de cortado (Gallo et al., 2002). Alguns trabalhos realizados por Plank (1951) indicam que o ataque do *D. minutus* apresenta forte correlação positiva com o aumento do teor de amido presente nos tecidos parenquimáticos de reserva do bambu. A incidência de ataque do bambu por *D. minutus* tem relação ainda com a elevada concentração de nutrientes orgânicos, como o amido, essencial para esse caruncho (Matoski, 2005).



FOTO: ASHLEY SHERIDAN CHARLES DARWIN FOUNDATION. © 2011 (CC BY-NC 5794)

Figura 1. Caruncho-do-bambu *Dinoderus minutus* (Bostrichidae)

Apesar de o bambu ser atrativo para *D. minutus*, essa atratividade diminui quando esse vegetal se encontra em período vegetativo (meses de maio a agosto), segundo Sarlo (2000). Em algumas espécies de bambus, os metabólitos secundários – como compostos fenólicos, por exemplo – podem apre-



sentar efeito repelente, regulador de crescimento e antinutricional sobre coleópteros, não sendo necessária a aplicação ou tratamentos químicos para a sua conservação (Koul et al., 1990).

Muitos experimentos têm sido realizados com auxílio de métodos de visão computacional. Trata-se da ciência responsável pelo desenvolvimento de técnicas e metodologias para a captura de informações que fazem parte de uma determinada imagem, extraindo informações significativas capturadas por câmeras de vídeo, sensores, escâneres, entre outros dispositivos (Brown, 1984). Essas informações permitem reconhecer e manipular objetos que compõem uma imagem (Ballard & Brown, 1982).

Dessa forma, buscou-se neste trabalho estabelecer a relação entre a preferência alimentar e o aumento no crescimento populacional de *D. minutus* nos bambus *B. vulgaris*, *B. vulgaris* var. *vittata* e *B. multiplex*, visando, com auxílio de técnicas de visão computacional, determinar a espécie de bambu mais eficaz para a criação massal desse caruncho em laboratório, bem como o material mais resistente à praga em questão.

Material e métodos

Os experimentos foram realizados na Fazenda Escola, Base de Pesquisa em Ciências Agrárias da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), no Centro de Tecnologia e Estudo do Agronegócio (CeTeAgro), município de Campo Grande (MS), no período da primavera ao verão. Devido às condições climáticas – maior pluviosidade e temperatura –, esperam-se desse período maiores crescimento e desenvolvimento reprodutivo e vegetativo do bambu devido (Azzini et al., 1997).

As varas maduras de bambus *B. vulgaris*, *B. vulgaris* var. *vittata* e *B. multiplex* foram coletadas de touceiras localizadas na base de pesquisa, com pelo menos 20 anos de plantio. As varas foram cortadas em toletes (10 cm x 4 cm x 1 cm), 92 por espécie, que foram colocados em uma estufa com renovação e circulação de ar, ajustada a 50 ± 3 °C por 48 horas. Dos 92 toletes por espécie, 72 foram utilizados no primeiro experimento e 20, no segundo.

1º EXPERIMENTO – CRESCIMENTO POPULACIONAL - Esse experimento foi realizado de setembro de 2012 a abril de 2013, durante a primavera e o verão, correspondendo ao verão quente e úmido. O clima da região de Campo Grande, segundo a classificação de Kopen, pode ser considerado como de transição entre clima subtropical úmido (Cfa), clima Tropical Úmido (Aw) e de Savana.

Com duração de 210 dias, o experimento foi repetido três vezes, com intervalo de 70 dias entre cada um. Durante as repetições, os toletes foram divididos em três grupos de oito unidades – cada grupo foi inserido em um recipiente de vidro de boca larga com volume de 500 ml. Para cada repetição, foram utilizados nove recipientes (três para cada tipo de bambu pesquisado) e 180 carunchos adultos não sexados (20 por recipiente), capturados em campo por meio de armadilhas entomológicas constituídas de toletes de *B. vulgaris*, instaladas a 2,5 metros de altura nas touceiras do bambu. Cada grupo foi inserido no interior de um recipiente de vidro, vedado com gaze para permitir a entrada de ar. Em seguida, os recipientes foram colocados dentro de uma câmara climatizada, com temperatura de 28 ± 2 °C, umidade de $75 \pm 5\%$ e fotofase de 12 horas, durante 70 dias.

Após a retirada dos recipientes da câmara climatizada ao final das repetições, foi realizada a contagem do número de insetos para obter o valor do crescimento populacional de carunchos por espécie de bambu.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC). Os resultados do número de carunchos ao final do experimento, depois de descontado o número inicial, foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$), pelo programa estatístico Assistat 7.7 Beta.

2º EXPERIMENTO – PREFERÊNCIA ALIMENTAR - Foi realizado em março de 2013, correspondendo ao verão, na mesma base de pesquisa do 1º experimento, em uma sala com 9 m² com temperatura de 25 ± 4 °C e $75 \pm 5\%$ de umidade. A umidade relativa foi ajustada por um umidificador de ar, e a temperatura, por um condicionador térmico portátil, ambos ligados durante todo o experimento. A sala continha uma arena de acrílico (protocolo de patente nº BR 10 2014 027689 0 GRU 0000221406308972), que media 1,20 metros de diâmetro (figura 2) e estava instalada sobre um tecido branco para destacar os carunchos.



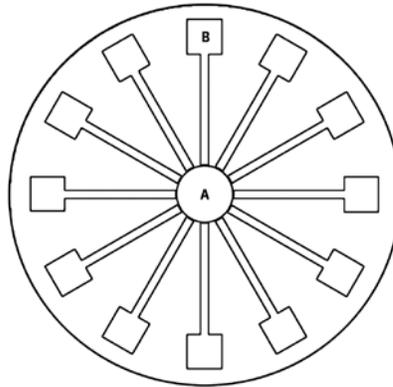


Figura 2. Esquema da arena em acrílico utilizada no experimento (visão superior). A letra "A" corresponde ao local onde os carunchos foram soltos durante o experimento; a letra "B" representa cada uma das extremidades com tampa removível, onde os toletes de bambus foram inseridos

Nesse experimento, repetido durante cinco dias consecutivos, foram utilizados ao todo 600 carunchos (divididos em cinco grupos de 120 indivíduos) e 20 toletes de bambu de cada espécie. Quatro toletes de cada espécie de bambu foram dispostos alternadamente nas extremidades da arena de acrílico transparente ("B"), totalizando 12 toletes por repetição. Em seguida, 120 carunchos foram liberados no centro da arena ("A"), para que pudessem ter a mesma chance de escolha em direção aos toletes. Posteriormente, a arena foi vedada com uma tampa removível. Cada experimento foi conduzido com 12 horas de luminosidade e 12 horas de escuridão, simulando um fotoperíodo completo de 24 horas. Após esse período, os toletes foram retirados da arena para a contagem dos carunchos.

Para acompanhar o comportamento e a movimentação dos carunchos em direção aos toletes de bambu localizados na arena de acrílico, foi utilizado o método de visão computacional. Cinco vídeos com 24 horas de gravação em sequência foram produzidos, com uma câmera filmadora instalada em um suporte metálico localizado 1,0m acima da arena de acrílico – a câmera utilizada foi a Sony DCR-SR300 de 6.1 Mega Pixels, resolução de 720 x 480 pixels e 30 quadros por segundo, lentes Carl Zeiss Vario-Sonnar, com visão noturna através de LED infravermelho.

O delineamento estatístico utilizado foi o de experimento inteiramente casualizado (DIC). Os resultados do número de carunchos atraídos pelos toletes de bambu foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$), pelo programa estatístico Assistat 7.7 Beta.

Resultados e discussão

Em relação ao primeiro experimento, os resultados apontaram diferenças significativas a 1% de probabilidade na preferência do caruncho pelos colmos de *B. vulgaris*. Considerando que um dos objetivos desta pesquisa era encontrar a dieta de bambu mais eficaz na criação massal do *D. minutus* em laboratório, a população de carunchos aumentou significativamente em *B. vulgaris*, em comparação às outras duas espécies de bambu. Assim, descontada a população inicial (20 insetos) inserida em cada recipiente de vidro, foram constatados, em média, 116 indivíduos em *B. vulgaris*, valor bastante superior ao registrado em *B. vulgaris* var. *vittata* (quatro insetos) e em *B. multiplex*, espécie em que nenhum inseto foi encontrado além dos previamente infestados (tabela 1). Para Lazzari&Lazzari (2009), os insetos tendem a preferir o alimento mais eficiente para seus processos metabólicos. Ainda, segundo os autores, nem sempre as preferências alimentares dos insetos são facilmente estabelecidas, pois muitas espécies podem sobreviver em uma variedade de alimentos, mas apresentar melhor desempenho e maior fecundidade em outros.

Tabela 1. Número médio de carunchos *Dinoderus minutus* em colmos de bambu, descontando-se a população inicial (20 insetos), aos 70 dias após a infestação. Temp. 28 ± 2 °C, $75\pm 5\%$ de umidade, fotofase de 12 horas

Colmos de bambu	Carunchos / 8 toletes
<i>Bambusa vulgaris</i>	116,3 a
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	3,7 b
<i>Bambusa multiplex</i>	0,0 b
CV (%)	9,86
F	843,45**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pela análise de variância pelo teste de Tukey.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p\leq 0,01$).

Matoski (2005) cita que o amido e outros carboidratos fornecem energia para o espessamento das paredes celulares e crescimento dos bambus. Entretanto, esses componentes são também lembrados como atrativos à infestação de organismos xilófagos, como o caruncho-do-bambu (Matoski, 2005). O nó de *B. vulgaris* é a parte do colmo com maior durabilidade em comparação com as partes central e apical (Liese, 2004). A explicação estaria no fato de que a região interna do colmo dessa espécie de bambu contém maior con-

centração de amido armazenado que a região externa, o que provavelmente possibilitou maior crescimento populacional de carunchos quando criados com essa dieta alimentar. Azzini et al. (1987) citam a predominância de tecido parenquimático rico em amido na região interna do colmo do *B. vulgaris*.

Em Porto Rico, várias tentativas de utilização de colmos de *B. vulgaris*, conhecida no meio rural local como “bambu-nativo”, não alcançaram êxito devido ao intenso ataque de *D. minutus* e consequente deterioração (Plank, 1950). Ainda segundo o autor, após a abertura da galeria para oviposição, o adulto a fecha com o pó proveniente do bambu utilizado para a alimentação. Para o autor, são as larvas que causam os maiores danos, já que elas utilizam os colmos como alimento para seu desenvolvimento. Quando as larvas recém-eclodidas começam a se alimentar, escavam galerias paralelas aos vasos condutores de seiva.

A preferência alimentar do caruncho-do-bambu (segundo experimento aqui descrito) também ocorreu pelo bambu *B. vulgaris*, o que corrobora os resultados constatados no experimento de crescimento populacional. Essa espécie apresentou atraído 85 insetos, enquanto a *B. vulgaris* var. *vittata* atraído 34 e a *B. multiplex*, apenas um (tabela 2). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Plank (1950), que constatou que o bambu *B. vulgaris* é mais atacado do que *B. vulgaris* var. *vittata*. Segundo Castro (2007), algumas pesquisas demonstraram que os princípios ativos de alguns inseticidas botânicos são substâncias secundárias do metabolismo das plantas, podendo interferir na atratividade ou na defesa dos vegetais contra ataques de insetos. No caso da espécie *B. vulgaris*, sugere-se que a atratividade provavelmente esteja relacionada aos compostos de metabolismo secundário.

A utilização do método por visão computacional no segundo experimento permitiu a visualização do deslocamento dos carunchos em direção aos toletes de bambu. Através dos vídeos, foi possível observar que os insetos se movimentaram sem agitação, ao longo dos prolongamentos da arena, em direção às dietas alimentares localizadas na extremidade. No máximo após 40 minutos do início de cada repetição, todos os 120 carunchos já se encontravam nas laterais dos toletes de bambu iniciando a perfuração. Os ataques começaram pela lateral interna dos toletes, provocando perfurações de aproximadamente 3 mm de diâmetro. Até o fim da cada avaliação, nenhum caruncho saiu dos toletes após a penetração. Para Plank (1948), esses insetos penetram no bambu através de feridas ou das extremidades cortadas e fazem túneis perpendiculares às fibras parenquimáticas, em torno dos colmos, onde os ovos são depositados.

Tabela 2. Preferência alimentar do caruncho *Dinoderus minutus* em colmos de bambu em teste com chance de escolha. Temp. 25±4 °C, 75±5% de umidade, fotofase de 12 horas

Colmos de bambu	Número médio de carunchos / 4 toletes
<i>Bambusa vulgaris</i>	85,2 a
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	34,0 b
<i>Bambusa multiplex</i>	0,8 c
CV (%)	14,64
F	263,53**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pela análise de variância pelo teste de Tukey.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$).

Os resultados obtidos podem ser relacionados aos do artigo “Metabolismo sazonal de carboidratos e compostos fenólicos em bambus como subsídio à conservação pós-colheita”, também presente neste livro. Nele evidenciam-se respostas fisiológicas desses três tipos de bambu ao aumento na concentração de carboidratos totais no período outono-inverno e menor diminuição de fenólicos totais nesse período. Os autores mostram ainda que a quantidade de amido nos colmos permaneceu estável durante todo o ciclo sazonal.

Ao contrário do que geralmente é citado na literatura, os compostos fenólicos aumentaram significativamente no período primavera-verão, considerado o período de crescimento vegetativo. Esse aumento possivelmente poderia atuar como protetor natural contra os carunchos. Ainda no artigo deste livro já mencionado acima, os autores citam que *B. vulgaris* apresentou maior concentração de glicose na primavera-verão, período em que a precipitação geralmente é maior. Dessa forma, com maior teor de glicose, há maior fornecimento de energia para o crescimento vegetativo e síntese de compostos secundários.

A preferência do *D. minutus* por *B. vulgaris* foi evidente em ambos os experimentos, sugerindo que essa espécie de bambu é eficaz na criação massal de carunchos em laboratório, podendo gerar grande número de indivíduos para serem utilizados em pesquisas científicas futuras. Novos estudos são necessários para determinar os componentes químicos que promovem atratividade e repelência entre os bambus *B. vulgaris*, *B. vulgaris* var. *vittata* e *B. multiplex*, entre eles compostos de metabolismo secundário.

Alguns compostos secundários (fenólicos) foram relatados em algumas espécies de bambu, sugerindo efeitos protetores contra carunchos e fungos.

Sabe-se que esse grupo de compostos apresenta diversas funções biológicas de acordo com o vegetal de origem, como propriedades sensoriais (características organolépticas), crescimento, processo germinativo de sementes, efeitos alelopáticos, mecanismo de defesa vegetal, entre outras (Lima & Moraes, 2008). Para algumas espécies de plantas, há relatos de efeito repelente, regulador de crescimento e antialimentar sobre várias espécies de coleópteros, lepidópteros, homópteros, heterópteros e dípteros (Martinez, 2002).

Como *B. multiplex* não propiciou crescimento populacional de *D. minutus* e foi a espécie de menor preferência alimentar pelo inseto, sugere-se que, quando comparada a *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *vittata*, essa espécie de bambu apresenta grande resistência ao ataque de carunchos. É, portanto, uma alternativa viável de matéria-prima nos setores de papel e celulose, construção civil e artesanato.

Além disso, essa espécie de bambu é muito robusta, suportando temperaturas de até -12 °C, mas não por períodos prolongados, sendo também muito resistente a fungos e insetos xilófagos (Meredith, 2001). Liese (1998) e Grosser e Liese (1971) indicam que a resistência mecânica aumenta durante a maturidade do colmo, o que se justifica pelo comprimento das fibras parenquimáticas. Comparando o tamanho das fibras entre diferentes espécies de bambu, todas com mesma idade e tamanho, Correia (2011) identificou que as fibras de *B. multiplex* são as menores em comprimento entre todas as espécies analisadas. Quanto à largura, *B. multiplex* é menor apenas que a espécie *B. tulda*. Dessa forma, novos estudos são necessários para determinar se a resistência de *B. multiplex* ao caruncho-do-bambu está relacionada à largura das fibras parenquimáticas e/ou aos componentes químicos.

Os resultados obtidos demonstram que o caruncho apresentou maior preferência alimentar pelo bambu *B. vulgaris* var. *vittata*, em relação a *B. multiplex*. Brito et al. (2004) relatam que o ataque do caruncho-do-bambu à espécie *B. vulgaris* var. *vittata* pode estar relacionado às suas condições químicas, sendo necessários novos estudos para determinar quais seriam esses componentes.

Nos dois experimentos realizados, *B. vulgaris* apresentou grande influência no crescimento populacional do *D. minutus*, bem como na preferência alimentar, sugerindo apresentar menor resistência ao ataque de carunchos em relação a *B. vulgaris* var. *vittata* e *B. multiplex*. O nó de *B. vulgaris* é a parte do colmo com maior durabilidade, comparado às partes central e do ápice (Liese, 2004). Para o autor, a explicação estaria no fato de que a região interna do colmo contém maior concentração de amido armazenado.

Conclusões

1. O crescimento populacional do caruncho-do-bambu *D. minutus* é bem maior em *B. vulgaris* do que em *B. vulgaris* var. *vittata*; já em *B. multiplex* não há aumento na população da referida praga.
2. Entre as três espécies testadas, *B. vulgaris* é a preferida de *D. Minutus* e *B. multiplex* é a menos atrativa.
3. Entre as espécies de bambu pesquisadas, *B. multiplex* apresenta maior resistência ao ataque do caruncho *D. minutus*.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), por possibilitar a existência do projeto “Desenvolvimento sustentável da região Centro-Oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu”, CNPq Processo 574 516/2008-5.

Referências

- ALBERTINI, J.L.A. Cultura de bambu. **Informe de Pesquisa**, v.3, n.22, p.1-7, fevereiro, 1979.
- AZZINI, A.; ARRUDA, M.C.Q.; FILHO, M.T.; SALGADO, A.L.B.; CIARAMELLO, D. Variações dos teores de fibras celulósicas e amido no colmo de bambu. **Bragantia**, v.46, p.141-145, janeiro, 1987.
- AZZINI, A.; SANTOS, R.L.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Bambu: material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agronômico de Campinas, **Boletim Técnico**, n.171, p.1-18, setembro, 1997.
- BALLARD, D.H.; BROWN, C.M. **Computer Vision. Prentice Hall Professional Technical reference**. New Jersey, 1 ed, 1982.
- BORGEMEISTER, C.; SCHAFER, K.; GOERGEN, G.; AWANDE, S.; SETAMOU, M.; POEHLING, H.M.; SCHOLZ, D. Host-finding behavior of *Dinoderus bifoveolatus* (Coleoptera: Bostrichidae), an important pest of stored cassava: the role of plant volatiles and odors of conspecifics. **Annals of the Entomological Society of America**, v.92, p. 766-771, maio, 1999.
- BRITO, C.H.; MEZZOMO, J.A.; BATISTA, J.L.; LIMA, M.S.B.; MURATA, A.T. Bioatividade de extratos vegetais aquosos sobre *Spodoptera frugiperda* em condições de laboratório. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, v.35, n.71, p.41-45, junho, 2004.
- BROWN, C.M. Computer vision and natural constraints. **Science**, v.224, p.1299-1305, junho, 1984.

- CASTRO, M.J.P. Potencial inseticida de extratos de *Piper tuberculatum* JACQ. (PIPERACEAE) sobre a fase larval de *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH). Dissertação em Agronomia. Piauí, p. 1- 58, 2007. Disponível em: < <<http://www.leg.ufpi.br/subsiteFiles/ppga/arquivos/files/dissertacao%20jesus.pdf>> . Acesso em 28 mar. 2015.
- CORREIA, V.C. Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentícias. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2011.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVERA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BERTI FILHO, E.; BATTISTA, G.C.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VEDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.G.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. Entomologia agrícola. Piracicaba: **FEALQ**, p. 522-524, 2002.
- GALVÃO, A.P.M.; MAGALHAES, W.L.E.; MATTOS, P.P. Processos práticos para preservar a madeira. **Documentos 96**. Embrapa Florestas. Paraná, p.39-40, 2004.
- GPWG (GRASS PHYLOGENY WORKING GROUP). Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.88, p.373-430, novembro, 2001.
- GROSSER, D.; LIESE, W. On the anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles. **Wood Science Technology**, v.5, p.290-312, abril, 1971.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Colômbia: D'Vinni Ltda, Part. v.4, p.142-153, 2003.
- KOUL, O.; ISMAN, M.B.; KETKAR, C.M. Properties and uses of neem, *Azadirachta indica*. **Journal Botanic**, v.68, p.1-11, janeiro, 1990.
- LAZZARI, S.M.N.; LAZZARI, F.A. Insetos-praga de grãos armazenados. In: PANIZZI, A.R.; PARRA, J.R.P. **Bioecologia e nutrição de insetos: base para o manejo integrado de pragas**. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, v.1, cap.17, p.667-721, janeiro, 2009.
- LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. **INBAR – International Network for bamboo and rattan**. China. p.200-204, 1998.
- LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relations to its structure. In: Simpósio Internacional *Guadua*. **Anais**, 2004.
- LIMA, J.D.; MORAES, W.S. Potencial alelopático de *Ipomoea fistulosa* sobre a germinação de alface e tomate. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.3, p.409-413, 2008.
- LOBOVIKOV, M.; BALL, L.; GUARDIA, M. World bamboo resources. **Food & Agriculture Organization**, p.13-18, 2007.
- LOPEZ, O.H. Bambú – su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. **Estudios Técnicos Colombianos Ltda**, p.41, 1974.
- MARTINEZ, S.S. **O nim: *Azadirachta indica*, natureza, usos multiplus e produção**. Instituto Agrônomico do Paraná. Londrina, 1 ed., p.142, 2002.
- MATOSKI, S.L.S. Comportamento de *Dinoderus minutus* Fabricius (1775) (Coleoptera: Bostri-chidae) em lâminas torneadas de madeira. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2005.
- MEREDITH, T.J. **Bamboos for gardens**. Portland: Timber press, 2001.
- MYERS, J.G. The arthropod fauna of a rice-ship, trading from Burma to the West Indies. **The Journal of Animal Ecology**, v.3, n.2, p.146-149, novembro, 1934.

- PLANK, H.K. Biology of the bamboo powder-post beetle in Puerto Rico. **Bulletin** 44, p.29, 1948.
- PLANK, H.K. Studies of factors influencing attack and control of the bamboo powder-post beetle. **Federal Experiment Station in Puerto Rico**, n.48, p.39, 1950.
- PLANK, H.K.; HANGEMAN, R.H. Starch and other carbohydrates in relation to powder-post beetle harvested bamboo. **Journal of Economic Entomology**, v.44, n.1, p.73-75, 1951.
- REES, D.P. The effect of *Teretriosa nigrescens lewis* (Coleoptera: Histeridae) on three species of storage Bostrichidae infesting shelled maize. **Journal Stored Product Research**, v.27, n.1, p.83-86, 1991.
- SARLO, H.B. Influência das fases da lua, da época de corte e das espécies de bambus sobre o ataque de *Dinoderus minutus* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae). Tese. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2000.
- SEDDON, D.A.; FAIZOOL, S. **A new lease of life for bamboo in Trinidad**. Trinidad and Tobago. Gott, p.7-12, 1993.
- SILVA, R. M. C. O. O bambu no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO DA ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 2006. Anais. Goiás, 2006. v.1, p.1-45. Disponível em: <http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf>. Acesso em 25 ago. 2015.
- SINGH, P.; BHANDARI, R.S. Insect pest of bamboos and their control. **Indian Forester**, n.10, p.670-713, 1988.
- SPILMAN, T.J. False powderpost beetles of the genus *Dinoderus* in North América (Coleoptera, Bostrichidae). **The Coleopterists Bulletin**, v.36, n.2, p.193-196, 1982.
- STOKES, A.; LUCAS, A.; JOUNEAU, L. Plant biomechanical strategies in response to frequent disturbance: uprooting of *Phyllostachys nidularia* (Poaceae) growing on landslide-prone slopes in Sichuan, China. **American Journal of Botany**, v.7, n.94, p. 1129-1136, 2007.
- TOMBOLATO, A.F.C.; GRECO, T.M.; PINTO, M.M. Dez espécies de bambus exóticos mais comuns no paisagismo no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.18, n.2, p.105-114, 2012.

Ocorrência, biomassa, perdas e exploração de bambu em florestas da Amazônia no Acre, Brasil



Lúcio Flávio Zancanela do Carmo⁽¹⁾, Eufran Ferreira do Amaral⁽²⁾ e Nilson Gomes Bardales⁽³⁾

⁽¹⁾Instituto Federal do Acre (IFAC). Rua Cel. Brandão, no 1622, CEP. 69930-000, Xapuri (AC). E-mail: lucio.carmo@ifac.edu.br

⁽²⁾Embrapa Acre. Rodovia BR 364, km 14, Caixa Postal 321, 69900-970, Rio Branco (AC). E-mail: eufran.amaral@embrapa.br

⁽³⁾Bolsista de Desenvolvimento Científico Regional do CNPq/Fapac, Embrapa Acre, Rodovia BR 364, km 14, Caixa Postal 321, 69900-970, Rio Branco (AC). E-mail: nilsonbard@yahoo.com.br

Resumo – Por meio deste trabalho, objetivou-se detalhar a ocorrência de bambu no Estado do Acre, de acordo com o percentual de participação em cada tipologia florestal, além de calcular o incremento de biomassa, avaliar a intensidade de perda e avaliar o potencial de exploração do bambu, segundo as condições de acessibilidade. Para tanto, utilizou-se análises por geoprocessamento com bases cartográficas de diferentes temáticas, inventários vegetacionais e dados de biomassa florestal, usando álgebra de mapas. Observou-se que a ocorrência de bambu no Acre está concentrada em oito tipologias florestais, que aparecem em maior proporção na região central do estado, ocupando cerca de 28% do território acreano. Ao considerar o bambu não como componente florestal, mas sim parte da biomassa da tipologia florestal, é possível atingir um incremento de mais de 10% naquelas tipologias em que há dominância de bambu no sub-bosque. Mais de 40% da área total desmatada no Acre nos últimos 10 anos constitui-se de florestas com bambu. As áreas com maior potencial de exploração imediata têm maior acessibilidade. O bambu nativo do Acre mostra-se como uma alternativa de produção sustentável e valorização da floresta nativa.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: GUADUA, GEOPROCESSAMENTO, LOGÍSTICA.

Occurrence, biomass, losses and exploitation of bamboo in the Amazon forests in Acre, Brazil

Abstract – *The goal of this work was to study the occurrence of bamboo in Acre according to the percentage of ownership in each forest type; in addition to calculate the increase of biomass; evaluate the intensity of loss, and the bamboo potential of exploitation in accordance with the conditions of accessibility. Thus, we used GIS cartographic databases of different themes, vegetation inventories and data of forest biomass, using algebra maps. We observed that the occurrence of bamboo in Acre is concentrated in eight forest types, focused in greater proportion in the central region of the state, occupying about 28% of the Acre territory. If we consider bamboo not as a non-forest biomass component but as part of the forest type, it is possible to achieve increments of over 10% in those types in which there is bamboo dominance in undergrowth. More than 40% of the total deforested area in Acre in the last ten years consists of forests with bamboo. The areas with greatest potential for immediate exploitation have increased accessibility. Native bamboo in Acre shows up as an alternative to sustainable production and enhancement of the native forest.*

INDEX TERMS: GUADUA, GIS, LOGISTICS.

Introdução

Os primeiros estudos de descrição da estrutura das florestas com bambu – sobretudo o gênero *Guadua* spp. – na Amazônia sul-ocidental foram realizados nos anos 70 (Brasil, 1976 e Brasil, 1977). Tratava-se de descrições, restritas em função dos critérios utilizados nos inventários quantitativos, que também limitaram discussões sobre riqueza e diversidade arbórea desse sistema (Silveira, 2001). Essa abordagem possibilitou somente um panorama da ocorrência do gênero *Guadua* na região, não permitindo um detalhamento da distribuição de espécies, tampouco da composição do sub-bosque por tipologia. Constatou-se, portanto, a necessidade de estudos que apresentassem uma compreensão integrada dos recursos naturais daquela região amazônica.

A posição geográfica da Amazônia sul-ocidental confere a ela uma alta biodiversidade, tendo em vista que a região compreende uma borda geomorfológica e geológica da transição entre a Amazônia e outros biomas (Amaral, 2007). Nessa região predominam as Florestas Ombrófilas Abertas, com



abundância de palmeiras, cipós e bambus no sub-bosque (IBGE, 1997). Já os Tabocais, como são conhecidas as florestas abertas com bambu no Acre, são facilmente reconhecidos a partir de imagens do sensor orbital *Landsat Thematic Mapper* (Bandas 3, 4 e 5), conforme descrito por Nelson (1994). O uso dessa geotecnologia permite o detalhamento de ocorrência e distribuição em escalas mais detalhadas.

Durante a construção do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre (Governo do Estado do Acre, 2000) foram identificadas onze tipologias florestais (Pereira & Bersch, 1999). Essa identificação foi realizada a partir da interpretação de imagens de satélite, utilizando os parâmetros tradicionais de interpretação: tonalidade, textura, localização, formato e trabalhos de campo com síntese de inventários florestais. Após a identificação das diferentes manchas nas imagens de satélite, a legenda foi definida baseada no mapa fitoecológico do Radam (Brasil, 1976 e Brasil, 1977), consideradas as associações de tipologias florestais.

Entre as onze tipologias florestais presentes no Acre, o bambu aparece de forma dominante em cinco (Governo do Estado do Acre, 2000), com diferentes percentuais de ocupação do sub-bosque. Essas cinco tipologias ocupam área equivalente a 59% do território acreano (Acre, 2006). Tendo em vista que esses resultados apresentam uma estimativa global, vale ressaltar que a estimativa de distribuição do bambu no Acre ainda carece de maior detalhamento – por ocorrência em cada mancha e por inclusão das manchas subdominantes.

As primeiras estimativas da biomassa de bambu no Acre, realizadas com amostras destrutivas (Seplan, 2013), demonstram a possibilidade de uma contribuição significativa do bambu na biomassa das tipologias florestais. Contudo, não há um estudo que integre essas duas variáveis (tipologias florestais e biomassa de bambu). Nas cinco tipologias já citadas, os estudos de biomassa florestal no Acre consideram somente o componente arbóreo da estimativa para fins de mensuração dos estoques de carbono (Costa et al., 2012; Costa & Amaral, 2014).

Atualmente, quase 13% das florestas do território acreano já foram convertidas em outros usos (Inpe, 2014). No caso das florestas com bambu, o ritmo e a intensidade dessa conversão são desconhecidos, uma vez que ainda não há o interesse econômico, tem-se dificuldades de logística para o trabalho de campo e ainda não se tem um esforço integrado de pesquisa na região. Ainda há lacunas com relação à identificação das espécies, mas quatro delas já foram reconhecidas: *Guadua weberbaueri*, *G. sarcocarpa*, *G. angustifolia*, *G. aff. angustifolia* (Silveira, 2006), sendo que a *G. angustifolia* é a espécie de

maior ocorrência na Colômbia, com grande potencial para uso econômico nos mais diversos setores, incluindo a construção civil.

O bambu é uma matéria-prima que apresenta enorme potencial econômico devido à sua ocorrência em grande escala e às suas múltiplas possibilidades de uso, sinalizando, assim, uma grande oportunidade para o uso econômico da biodiversidade (Afonso, 2011). No entanto, restam ainda muitos desafios, como o conhecimento detalhado dos aspectos de acessibilidade de cada mancha, o que permitirá um planejamento da logística necessária à sua exploração racional.

Sendo assim, propõe-se alcançar os seguintes objetivos neste trabalho: i) detalhar a ocorrência de bambu no Acre, de acordo com o percentual de participação em cada tipologia florestal; ii) calcular o incremento de biomassa em cada tipologia considerando o componente bambu e seus estoques de carbono; iii) avaliar a intensidade de perda das florestas com bambu no Acre e; iv) avaliar o potencial de exploração do bambu, de acordo com as condições de acessibilidade.

Material e métodos

ÁREA DE ESTUDO - O Estado do Acre está localizado na Amazônia sul-ocidental, entre as latitudes de 7°7' S e 11°8' S e as longitudes de 66°30' O e 74°0' O. Faz divisas internacionais com Bolívia e Peru, e limites estaduais com Amazonas e Rondônia (figura 1). Sua superfície territorial é de 164.221 km², correspondendo a aproximadamente 4% da Amazônia Brasileira e a 1,9% do território nacional (Acre, 2006).

OCORRÊNCIA DE BAMBU NAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS DO ACRE - Para a realização das atividades de geoprocessamento, utilizou-se o programa ArcGIS®, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute (ESRI) de Redlands, Califórnia (Ormsby, 2001), que permitiu as análises espaciais integradas. Nessas análises foram utilizadas as bases geográficas dos estudos de vegetação do Zoneamento Ecológico-Econômico Fase II na escala de 1:250.000 (Acre, 2010).

Na base do Zoneamento Ecológico-Econômico em cada unidade de mapeamento foram consideradas associações de tipologias florestais, cuja classificação é feita colocando-se primeiro a tipologia dominante e depois a tipologia mais significativa. Entretanto, devido à heterogeneidade da floresta tropical, podem ocorrer pequenas manchas de outras tipologias (Pereira & Bersch, 1999).

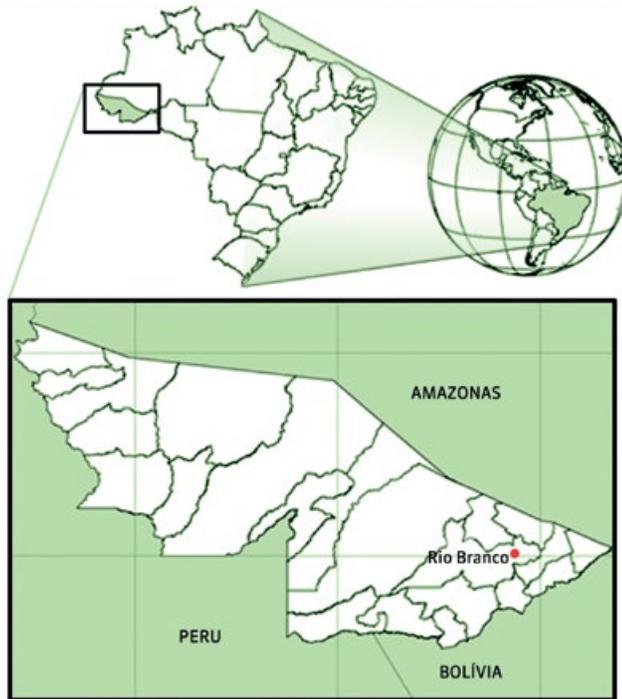


Figura 1. Localização do Estado do Acre em relação às Américas e ao Brasil

Para obter a área de contribuição do bambu em cada mancha, foram inseridos na base geográfica de informação de vegetação dados básicos do percentual de ocorrência do bambu em cada uma das tipologias, citados por Pereira e Bersch (1999). O produto resultante foi analisado por meio de interseção com a camada de informação dos limites municipais do Acre, obtendo-se assim a ocorrência de bambu em cada município acreano.

DISTRIBUIÇÃO DA BIOMASSA DE BAMBU NAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS - Os dados de biomassa florestal de Costa et al. (2012) para as florestas acreanas foram integrados ao mapa de tipologias florestais. Para a estimativa de biomassa de bambu foi utilizada a base de dados de Seplan (2013), que realizou estudos com amostras destrutivas na Floresta Estadual do Antimari, onde há maior ocorrência de *Guadua weberbaueri* (Silveira, 2006). Essa espécie é utilizada como referência devido à inexistência de estudos destrutivos com outras espécies. Os resultados de Seplan (2013) demonstram que *Guadua weberbaueri* ocorre em uma densidade média de 2.060 varas/hectare, com diâmetro de 4,8 cm e altura média total de 14,8 m.

Para obter a biomassa florestal total, adicionou-se a biomassa florestal de cada polígono aos resultados da biomassa de bambu, de acordo com a seguinte equação:

$$B_{ft} = B_a + B_b$$

Em que: B_{ft} é a biomassa florestal, B_a é a biomassa arbórea e B_b é a biomassa do bambu.

A partir dos resultados de biomassa, e utilizando as referências de Costa et al. (2012), foram estimados os estoques de carbono nas florestas de bambu do Acre.

PERDA DAS FLORESTAS COM BAMBU - Os dados a respeito da área desmatada estão atualizados até o ano de 2005 na base de informação de vegetação do Zoneamento Ecológico Econômico (Acre, 2010). Para permitir a visualização da distribuição das manchas e de sua integridade, os limites foram revisados, excluindo-se o desmatamento total acumulado até 2014 (Acre, 2015). Essa operação resultou em duas camadas de informação: florestas de bambu que foram perdidas no período de 2006 a 2014 e distribuição atualizada das manchas de bambu no Acre.

POTENCIAL DE EXPLORAÇÃO DO BAMBU - Para avaliação do potencial de exploração do bambu foram utilizados os dados de hidrografia, rede viária e sedes municipais da base cartográfica oficial do Estado do Acre (Acre, 2006), na escala de 1:100.000. Para cada variável foi estruturado um novo nível de informação correspondente à distância linear da variável em relação aos limites do Acre, resultando numa superfície de distância em todo o estado.

Para permitir a integração dos dados, os valores de distância dos diferentes critérios (distância de hidrografia, distância de rede viária e distância de sedes de municipais) foram normalizados, para uma mesma escala (0 a 1) de valores, sendo zero para a maior distância apresentada e um para a menor distância em relação ao território acreano,

Para a normalização, foi adotada a seguinte fórmula (Eastman, 1997):

$$X_i = \frac{(R_i - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})}$$

Em que: R_i é o valor de escore a normalizar; e R_{min} e R_{max} são os escores mínimo e máximo, respectivamente.

Os três critérios foram então integrados a partir da inversão de sua aptidão, ou seja, aquele que estivesse numa situação de menor distância seria uma célula com maior atratividade. Dessa forma, foi realizada uma multiplicação das três camadas obtendo-se um indicador integrado de logística.

Esse indicador foi então integrado às manchas de bambu para que fosse possível medir o potencial de exploração, excluindo da análise aquelas áreas onde não se poderia fazer a exploração econômica: terras indígenas e unidades de conservação de proteção integral.

Resultados e discussão

A análise do mapa de vegetação indica que a ocorrência de bambu no Estado do Acre está concentrada em oito tipologias florestais (tabela 1), das quais em apenas uma (Floresta Aberta com Bambu Dominante-FABD) o gênero *Guadua* aparece em 100% do sub-bosque. Essas tipologias ocupam 10.969.410 hectares que correspondem a 67% do território acreano, quantitativo superior ao relatado em Acre (2006).

Tabela 1. Quantificação das tipologias florestais com ocorrência de bambu no Estado do Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil

Tipologia Florestal ¹	Ocorrência de Bambu (%)	Área total da tipologia	Área da tipologia com a presença de Bambu no sub-bosque	
			Área (ha)	%
FAB + FAP	50	3.634.215	1.817.443	40
FAB + FAP + FD	40	536.876	214.790	5
FAB + FD	80	348.429	278.794	6
FAB - Aluvial	90	160.358	144.349	3
FABD	100	1.476.834	1.477.107	32
FAP + FAB	20	1.956.860	391.444	9
FAP + FAB + FD	10	1.938.503	193.886	4
FAP + FD + FAB	5	917.334	45.875	1
Total		10.969.410	4.563.688	100

¹ FAB + FAP= Floresta Aberta com Bambu + Floresta aberta com Palmeiras; FAB + FAP + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa; FAB + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa; FAB - Aluvial= Floresta Aberta com Bambu em área aluvial; FABD= Floresta Aberta com Bambu Dominante; FAP + FAB= Floresta aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu; FAP + FAB + FD= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa e FAP + FD + FAB= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa + Floresta Aberta com Bambu

A tabela 1 mostra que o bambu não domina completamente os sub-bosques das tipologias. Sua ocorrência variou de 100% (na Floresta Aberta com Bambu dominante) até 5% (na associação Floresta Aberta com Palmeira + Floresta Densa + Floresta Aberta com Bambu) na composição do sub-bosque efetivamente ocupado. Dessa forma, as florestas com ocorrência de bambu no sub-bosque estariam reduzidas a 4.563.688 hectares, o que representa 28% do território acreano – uma estimativa mais realista da distribuição do bambu como componente principal do sub-bosque das tipologias florestais consideradas.

Os resultados demonstraram que 72% da área com bambu estão concentrados na tipologia Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira e Floresta Aberta com Bambu Dominante. Logo, essas tipologias devem ter prioridade na realização de futuros inventários para a identificação da espécie, distribuição, dinâmica de crescimento e características como espessura do colmo, dominância e qualidade da fibra.

Do ponto de vista regional, as florestas com bambu se concentram em maior proporção na região central do estado, nas regionais do Purus e do Tarauacá-Envira, com ocorrência menor nas regionais do Alto Acre e do Juruá (figura 2).

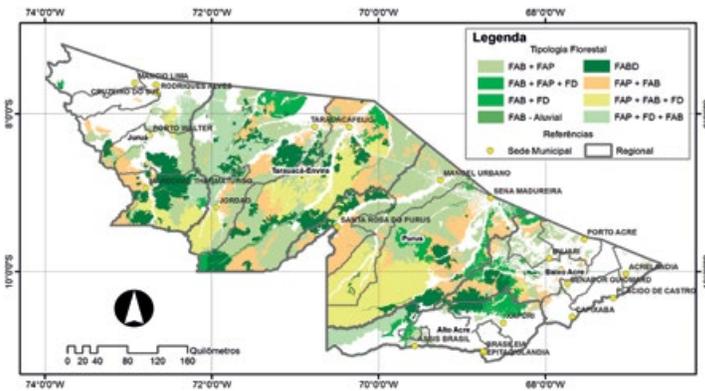


Figura 2. Distribuição das Florestas com bambu no Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil. Onde: FAB + FAP= Floresta Aberta com Bambu + Floresta aberta com Palmeiras; FAB + FAP + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa; FAB + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa; FAB – Aluvial= Floresta Aberta com Bambu em área aluvial; FABD= Floresta Aberta com Bambu Dominante; FAP + FAB= Floresta aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu; FAP + FAB + FD = Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa e FAP + FD + FAB= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa + Floresta Aberta com Bambu

Analisando a distribuição das florestas com bambu e das áreas com efetiva presença de bambu nos municípios do Acre (tabela 2), conclui-se que os municípios de Feijó, Sena Madureira e Tarauacá englobam mais de 50% da área com bambu no estado, demonstrando grande oferta de matéria-prima para exploração econômica. Nota-se ainda que somente o município de Epitaciolândia não possui florestas com bambu.

Tabela 2. Quantificação das tipologias florestais com ocorrência de bambu e da área efetiva ocupada com bambu nos municípios acreanos, Amazônia sul-ocidental, Brasil

Município	Floresta com Bambu (ha)	Área com bambu (ha)
Feijó	2.601.841	1.122.460
Sena Madureira	2.045.614	740.082
Tarauacá	1.513.999	660.812
Marechal Thaumaturgo	762.083	376.788
Manoel Urbano	958.976	337.912
Rio Branco	568.910	296.215
Santa Rosa do Purus	520.894	226.761
Porto Walter	384.240	225.052
Jordão	481.133	148.621
Xapuri	235.278	127.030
Bujari	175.405	84.334
Cruzeiro do Sul	249.534	64.156
Assis Brasil	274.697	60.573
Porto Acre	81.379	38.783
Brasiléia	59.233	28.374
Acrelândia	17.875	8.193
Mâncio Lima	8.436	7.093
Capixaba	19.355	6.172
Senador Guiomard	6.360	3.180
Rodrigues Alves	3.290	658
Plácido de Castro	878	439
Total	10.969.410	4.563.688

Os resultados dos estudos sobre biomassa de bambu (Seplan, 2013) demonstraram que a biomassa seca acima do solo corresponde a 27.905 kg/ha e a biomassa abaixo, a 1.654 kg/ha. Assim, a biomassa total é de 29.559 kg/ha, que corresponde ao estoque total de carbono de 14.780 kg/ha.

A partir dos dados sobre a contribuição da biomassa do bambu por hectare, foi possível avaliar sua contribuição em termos de carbono para a biomassa das tipologias florestais (tabela 3). Os resultados demonstram que essa contribuição é maior nas tipologias em que o bambu é dominante (FABD e FAB-Aluvial). Nelas houve, respectivamente, um incremento de 12,7% e 11,4% do estoque de carbono total.

Tabela 3. Quantificação das tipologias florestais com ocorrência de bambu no Estado do Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil

Tipologia Florestal ¹	Estoque de C (Gg) ²			% Incremento
	Tipologia	Bambu	Total	
FAB + FAP	410.484	26.925	437.410	6,6
FAB + FAP + FD	89.394	3.182	92.576	3,6
FAB + FD	57.877	4.130	62.007	7,1
FAB – Aluvial	18.726	2.139	20.865	11,4
FABD	172.458	21.883	194.342	12,7
FAP + FAB	277.711	5.799	283.510	2,1
FAP + FAB + FD	322.776	2.872	325.648	0,9
FAP + FD + FAB	152.743	680	153.423	0,4
Total	1.502.169	67.611	1.569.780	4,5

¹ FAB + FAP= Floresta Aberta com Bambu + Floresta aberta com Palmeiras; FAB + FAP + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa; FAB + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa; FAB – Aluvial= Floresta Aberta com Bambu em área aluvial; FABD= Floresta Aberta com Bambu Dominante; FAP + FAB= Floresta aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu; FAP + FAB + FD= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa e FAP + FD + FAB= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa + Floresta Aberta com Bambu. 2Gg=109 g=1.000 toneladas

Embora o incremento médio do percentual do estoque de carbono nas tipologias com a biomassa do bambu tenha sido de 4,5%, esse valor representa 67.611 Gg em todo o estado. Caso seja considerado dentro de uma estratégia do projeto de Reduções de Emissões por Desmatamento, esse quantitativo poderia representar um ativo importante na contabilidade total das reduções e na ampliação das possibilidades de captação de recursos (Amaral, Leal & Bardales, 2015).

Por outro lado, está ocorrendo uma perda desse recurso não madeireiro em larga escala e em todas as tipologias. Somente nos últimos 10 anos (2005-2014) foram desmatados 221.871 hectares de floresta com bambu (tabela 4),

sendo que a tipologia Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira corresponde a quase 45% da área impactada. Como o bambu é parte do sub-bosque da tipologia florestal, acaba sendo perdido através de emissões de CO₂ para a atmosfera. Se considerarmos a utilização de apenas 20% das varas de cada hectare desmatado e queimado, nesses 10 anos o Estado do Acre perdeu a possibilidade de utilizar cerca de 42 milhões de varas devido ao desmatamento da floresta primária para implantação de pastagens ou outros usos.

Tabela 4. Quantificação e desmatamento das tipologias florestais com ocorrência de bambu no Estado do Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil

Tipologia Florestal ¹	Desmatamento acumulado/2005-2014 (ha)		Número potencial de varas ²
	Tipologia	Área com bambu	
FAB – Aluvial	7.902	7.112	2.930.192
FAB + FAP	99.695	49.847	20.537.095
FAB + FAP + FD	26.177	10.471	4.313.998
FAB + FD	12.929	10.343	4.261.522
FABD	16.818	16.818	6.929.067
FAP + FAB	40.349	8.070	3.324.761
FAP + FAB + FD	10.292	1.029	424.020
FAP + FD + FAB	7.708	385	158.789
Total	221.871	104.076	42.879.442

¹ FAB + FAP= Floresta Aberta com Bambu + Floresta aberta com Palmeiras; FAB + FAP + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa; FAB + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa; FAB – Aluvial= Floresta Aberta com Bambu em área aluvial; FABD= Floresta Aberta com Bambu Dominante; FAP + FAB= Floresta aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu; FAP + FAB + FD= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa e FAP + FD + FAB= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa + Floresta Aberta com Bambu.² Considerando a estimativa de 2.060 varas de *Guadua weberbaueri*/ hectare e uma taxa de exploração de 20%

Cerca de 40% do total de florestas desmatadas nos últimos 10 anos eram florestas com bambu (tabela 5), o que mostra a importância dessas florestas no contexto do desmatamento do Estado do Acre. Nos últimos seis anos essa contribuição tem aumentando consideravelmente, atingindo, no ano de 2014, 54% da área desmatada, o que enfatiza a necessidade de aproveitamento econômico desse recurso que atualmente é desperdiçado, gerando um considerável passivo ambiental.

Tabela 5. Estratificação e desmatamento das tipologias florestais com ocorrência de bambu no Estado do Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil

Ano	Número de polígonos	Área desmatada (ha)		Contribuição Floresta com bambu (%)
		Floresta com bambu	Floresta total	
2005	106	31.177	90.341	34,5
2006	129	20.960	55.629	37,7
2007	144	24.370	58.646	41,6
2008	134	14.136	37.641	37,6
2009	145	20.498	44.009	46,6
2010	158	33.895	84.373	40,2
2011	159	12.789	30.976	41,3
2012	111	15.736	30.866	51,0
2013	153	24.365	51.393	47,4
2014	614	23.945	44.366	54,0
Total	1853	221.871	528.241	42,0

Ao integrar os dados de hidrografia, rede viária e sedes municipais, foi possível obter a espacialização dos níveis de restrição para a exploração do produto (figura 3), considerando como principal limitante o seu escoamento. Observa-se assim que os municípios cujo acesso é feito por terra e por rios possuem melhores condições de escoamento, uma vez que no período das cheias os rios poderiam representar uma alternativa de transporte bimodal.

Analisando a distribuição dos valores obtidos nas tipologias florestais com ocorrência de bambu observa-se que a Floresta Aberta com Bambu em área aluvial apresenta um índice de logística de 0,34±0,05 (tabela 6), o mais baixo das tipologias, em função das áreas de difícil acesso em que se encontra.

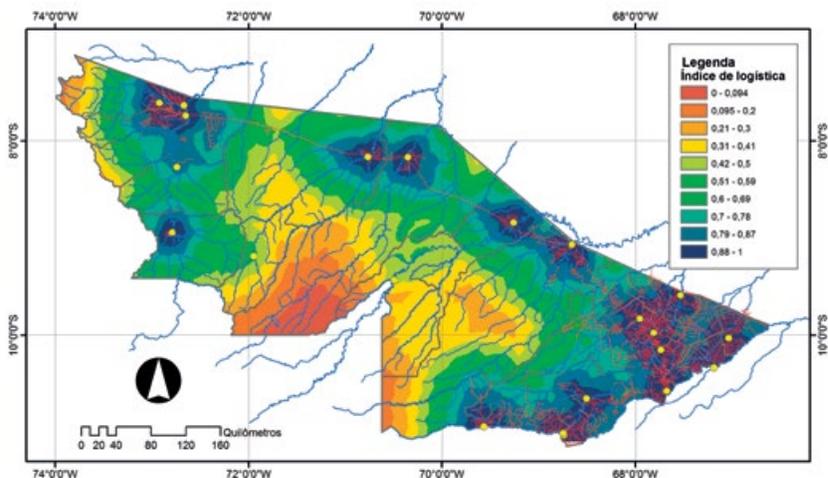


Figura 3. Distribuição do índice de logística para a exploração do bambu no Estado do Acre, considerando a distância das sedes municipais, distância de estradas/ ramais e distância dos principais rios

Tabela 6. Índice de logística das tipologias florestais de ocorrência de bambu no Estado do Acre, Amazônia sul-ocidental, Brasil

Tipologia Florestal ¹	Índice de logística				
	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	Desvio padrão
FAB + FAP	0,68	0,84	0,16	0,75	0,04
FAB + FAP + FD	0,66	0,84	0,18	0,75	0,04
FAB + FD	0,67	0,81	0,13	0,74	0,04
FAB - Aluvial	0,26	0,45	0,19	0,34	0,05
FABD	0,47	0,68	0,21	0,55	0,05
FAP + FAB	0,61	0,80	0,19	0,68	0,04
FAP + FAB + FD	0,63	0,80	0,17	0,70	0,03
FAP + FD + FAB	0,43	0,85	0,42	0,61	0,12

¹ FAB + FAP= Floresta Aberta com Bambu + Floresta aberta com Palmeiras; FAB + FAP + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa; FAB + FD= Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa; FAB - Aluvial= Floresta Aberta com Bambu em área aluvial; FABD= Floresta Aberta com Bambu Dominante; FAP + FAB= Floresta aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu; FAP + FAB + FD= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu + Floresta Densa e FAP + FD + FAB= Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa + Floresta Aberta com Bambu

Apesar de apresentar alto potencial devido à densidade de bambu, a tipologia Floresta Aberta com Bambu Dominante apresentou um índice de logística de $0,55 \pm 0,05$, em função da localização das manchas. As duas tipologias de maior potencial ($0,75 \pm 0,04$) foram a Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira e Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira + Floresta Densa, nas quais as áreas com bambu correspondem a 50% e 40%, respectivamente, apresentando inteligência territorial estratégica para planejar o processo de exploração e transporte.

Excluindo-se as áreas de proteção integral e as terras indígenas – vedadas à exploração comercial – e integrando-se as tipologias com os limites municipais, obteve-se 13.536 polígonos, que foram agregados ao índice de logística, demonstrando, assim, de forma detalhada, o potencial de exploração no Acre (figura 4).

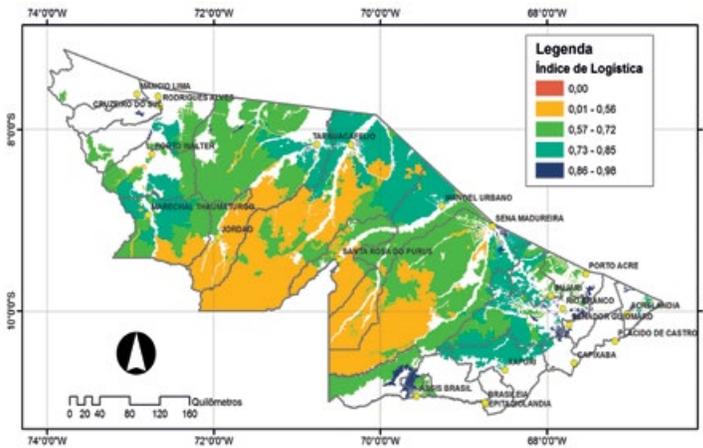


Figura 4. Distribuição do índice de logística para a exploração do bambu no Estado do Acre, considerando a distribuição pelos municípios e a exclusão de áreas protegidas (terras indígenas e unidades de conservação de proteção integral)

As manchas de maior potencial são pequenas e estão distribuídas nos municípios de Assis Brasil, Brasiléia, Acrelândia, Rio Branco, Porto Acre, Sena Madureira, Manuel Urbano, Feijó, Mâncio Lima, Cruzeiro do Sul e Marechal Thaumaturgo.

A partir dessa base de dados espacial pode-se visualizar estrategicamente as possibilidades de exploração do bambu nativo no Acre, que se distribui por todo o Estado em diferentes intensidades.

Conclusões

1. As florestas de bambu dominam a paisagem no território do Acre, ocupando as tipologias florestais que ocorrem em 62% do território acreano condicionando a sua ocorrência dominante e pura no sub-bosque a cerca de 28% do território acreano.
2. Ao considerar o bambu como componente não florestal e parte da biomassa da tipologia florestal, é possível alcançar um incremento de mais de 10% naquelas tipologias em que há dominância de bambu no sub-bosque.
3. Nos últimos 10 anos, 42% do total de florestas desmatadas no Acre eram florestas com bambu no sub-bosque. Essa perda ressalta a importância dessas florestas no contexto do desmatamento do estado e a necessidade de estratégias de conservação desse recurso.
4. As duas tipologias de maior potencial de exploração do bambu, de acordo com a acessibilidade, são a associação de Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira e a associação de Floresta Aberta com Palmeira + Floresta Aberta com Bambu, com 50 % e 40 % de área com bambu, respectivamente. Há de se considerar a acessibilidade às manchas para planejar o processo de exploração e transporte.

Referências

- ACRE. Governo do Estado. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II**. Documento síntese – Escala 1:250.000. Rio Branco: Sema, 2006. 350p.
- ACRE. Governo do Estado. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II** (Escala 1:250.000): documento síntese. 2. ed. Rio Branco: Sema, 2010. 356p.
- ACRE. Governo do Estado. **Desmatamento no Acre – 1988-2014: base de dados geográfica**. Rio Branco: Ucegeo, 2015.
- AFONSO, D.G. **Bambu nativo (*Guadua spp.*): alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o Estado do Acre**. Trabalho de conclusão de curso de pós-graduação. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011. 49p.
- AMARAL, E. F. do. **Estratificação de ambientes para gestão ambiental e transferência de conhecimento, no estado do Acre, Amazônia Ocidental**. Tese de Doutorado, UFV, Viçosa-MG, 2007. 185p.
- AMARAL, E.F. do; LEAL, M.J. de L. R. de; BARDALES, N.G. Sistema Estadual de Incentivos aos Serviços Ambientais do Acre: Lições para a construção de instrumentos econômicos nacionais. In: **Incentivos Econômicos para Serviços Ecossistêmicos no Brasil**. Rio de Janeiro: Forest Trends, 2015. 122p. p.65-71.

- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam Brasil. Folha SC. 19. Rio Branco; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: 1976. 458p. (Levantamento de Recursos Naturais, 12).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam Brasil. Folha SC. 18 Javari/ Contamana; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: 1977. 420p. (Levantamento de Recursos Naturais, 13).
- COSTA, F. de S.; AMARAL, E.F. do; BUTZKE, A.G.; NASCIMENTO, S. da. S. (Eds.). Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do Estado do Acre: ano-base 2010. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 2012. cap.2, p.41-77.
- COSTA, F. de S. C., AMARAL, E.F. do. (Eds.). Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do Estado do Acre: ano-base 2012. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 2014. 94p.
- EASTMAN, J.R. IDRISI for Windows: User's guide. Version 2.0. Worcester: **Clark University-Graduate School of Geography**, 1997.
- FREITAS, J.L.J. Padrões espaciais e temporais das Florestas com Bambu (*GUADUA* SPP) no sudoeste da Amazônia, detectados através de imagem de satélite. São Lourenço/MG: **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**, 2009.
- INPE. Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia. Relatório 1999-2.000. 14. http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amz1999_2014/Prodes. 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1997). Diagnóstico ambiental da Amazônia legal (CD-ROM). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- NELSON, B.W. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing Reviews**, 10, p.105-125, 1994.
- ORMSBY, T.; NAPOLEON, E.; BURKE, R.; NAPOELON, E.J. **Getting to know ArcGIS desktop: basics of Arc View, ArcEditor and ArcInfo**. Califórnia: ESRI, 2001. 541p.
- PEREIRA, V. de F.G.; BERSCH, D. Vegetação. Relatório apresentado ao Governo do Estado do Acre. Rio Branco, 1999. 23 p. (não publicado)
- SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento. Relatório Técnico Final – Estudo de Biomassa na Floresta Estadual do Antimary. Rio Branco, 2013. 25p. (não publicado)
- SILVEIRA, M. A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. Tese de Doutorado, UNB, Brasília – DF, 2001. 121p.
- SILVEIRA, M. Oferta de bambu (*Guadua* spp.) nos vales dos rios Acre-Purus e estudos populacionais como base para a elaboração de um plano de manejo piloto do recurso. Relatório apresentado ao Sebrae/AC. Rio Branco, 2006. 17p. (não publicado)
- SMITH, M., NELSON B.W. Fire favours expansion of bamboo-dominated forests in the south-west Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, 2011, 27, 59-64.

Estrutura populacional e o potencial de uso de *Guadua cf. superba* na região do Alto Acre

Elias Melo de Miranda⁽¹⁾, *Dixon Gomes Afonso*⁽²⁾,
Suelem Marina de Araújo Pontes⁽²⁾, *João Carlos Neves de Souza*⁽²⁾,
Daniel do Nascimento Lima⁽²⁾ e *João Lima de Freitas Júnior*⁽²⁾

⁽¹⁾ Embrapa Acre. Rodovia BR 363 Km 14, Caixa Postal: 321 CEP. 69900-970, Rio Branco, AC. E-mail: elias.miranda@embrapa.br

⁽²⁾ Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (Funtac). Rua das Acácias, 279 – Distrito Industrial. CEP. 69.920-175, Rio Branco, AC. E-mails: dixon.afonso@ac.gov.br, suelem.pontes@ac.gov.br, joao.souza@ac.gov.br, daniel.lima@ac.gov.br e biojoao04@gmail.com

Resumo – O objetivo deste estudo foi conhecer a estrutura populacional e indicar usos para *Guadua cf. superba*, com base nas propriedades anatômicas do colmo (haste com nós e entrenós bem visíveis). A população estudada está localizada na Reserva Extrativista Chico Mendes, no Acre. Foi realizado um levantamento amostral e demarcada uma parcela de 1ha, onde foi avaliada a estrutura da população e coletados segmentos de colmos para testar a resistência do material à deterioração natural e a esforços físicos-mecânicos. Os resultados mostraram uma elevada densidade e dominância do bambu e equilíbrio entre o número de colmos jovens e maduros. As provas realizadas denotaram a baixa resistência do material ao ataque de agentes biológicos e à abrasão, porém com grande estabilidade dimensional. Assim, esse material pode ser usado para confecção de painéis e produtos derivados que não exijam dureza elevada. No entanto, para outros usos, como a fabricação de pisos, que exigem maior resistência mecânica na superfície, os colmos devem ser transformados em madeira maciça por meio de processamento industrial para adquirir a resistência necessária. Conclui-se que a população estudada apresenta características que favorecem a produção sustentável e pode fornecer material para diversos usos. Mas é necessária a realização de tratamentos de preservação e imunização para aumentar a sua durabilidade.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: TABOCA GRANDE, BAMBU NATIVO, LEVANTAMENTO POPULACIONAL, CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS.



Population structure and use potential of *Guadua cf. superba* in the Alto Acre region

Abstract – *The aim of this study was to understand the population structure and indicate uses for Guadua cf. superba, based on the anatomical properties of the stem. The population studied is located in the Chico Mendes Extractive Reserve, in Acre. A sampling survey was conducted and a plot of 1 ha was demarcated, where we evaluated the structure of the population and collected stem segments to test the resistance of the material to natural deterioration and to physical-mechanical stress. The results showed a high density and dominance of bamboo and balance between the number of young and mature stems. The tests carried out made it possible to pinpoint the low resistance of the material to the attack of biological agents and abrasion, however with great dimensional stability. Thus, this material can be used for making panels and products thereof, which do not require high hardness. Nevertheless, for other uses, such as manufacturing floors, requiring higher mechanical strength on the surface, the stems must be transformed into solid wood through industrial processing, to acquire the necessary strength. We conclude that the studied population has characteristics that favor sustainable production and can provide material for diverse uses. However, it is necessary to perform preservation and immunization treatments in order to increase its durability.*

INDEX TERMS: GREAT TABOCA, NATIVE BAMBOO, POPULATION SURVEYS, PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS.

Introdução

Bambu é uma designação genérica para um grupo de plantas da família Poaceae. Seu crescimento e sua ocupação do terreno ocorrem por meio da emissão de rizomas, que são um tipo de caule subterrâneo. Nesses rizomas estão as gemas (brotos) de onde se originam os colmos (haste das gramíneas como a cana-de-açúcar e o bambu, que possuem nós e entrenós bastante visíveis). Existe grande número de espécies de bambus no mundo, de variados portes, desde herbáceos até gigantes, que podem atingir mais de 30 metros de altura e 20 centímetros de diâmetro. Entre os bambus arborescentes, de maior potencial econômico, destacam-se os asiáticos, como os pertencentes aos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys*, entre outros. Nas Américas os



bambus nativos com maior potencial de uso são as espécies pertencentes ao gênero *Guadua*.

Londoño e Peterson (1991) afirmam que *Guadua* é um dos gêneros de bambu com maior amplitude de distribuição no novo mundo – a maioria de suas 33 espécies é, inclusive, endêmica no continente sul-americano. Muitas delas estão concentradas na Amazônia e na bacia do Orinoco, crescendo, geralmente, em altitudes abaixo de 1.500 m (mas já foram encontradas em até 2.500 m). Os seus *hábitats* incluem várzea tropical e floresta submontana, savanas, cerrados, matas de galeria e vales interandinos com vegetação perturbada (Clark, 1990; Londoño, 1992).

Nesse sentido, Medina e Medina (1965) mostram que cerca de 20 das 33 espécies conhecidas de *Guadua* pertencem à flora indígena do Brasil, um centro vegetativo desse gênero botânico. Estes autores também se referem a *Guadua superba* Huber (taboca grande ou taquaruçu) como nativa da região do alto Rio Purus, no Acre, enquanto Hidalgo-López (2003) relata a ocorrência de *G. superba* e *Guadua angustifolia* Kunt nas margens desse mesmo rio. Também no Acre, ocorrem *Guadua weberbaueri* Pilger e *Guadua sarcocarpa* Londoño e Peterson, que apresentam distribuição ampla e aparecem frequentemente nos interflúvios tabulares. Vale destacar, ainda, que *G. superba* se restringe às florestas temporariamente alagadas ou a áreas de drenagem deficiente. A abundância de registros mostra que o Brasil é o país de maior diversidade de bambus e possui uma das maiores reservas do mundo, com elevada ocorrência de espécies, principalmente no sudoeste da Amazônia.

Os bambus têm grande potencial econômico e de geração de emprego e renda, devido à diversidade de suas potenciais aplicações. Entre as mais conhecidas estão o uso nos setores da construção civil, movelaria, celulose e papel, bioenergia e artesanato, uma vez que pode substituir ou complementar o emprego da madeira, seja na forma de colmos roliços ou transformado em painéis por processo industrial.

A sustentabilidade parece inerente às características da planta e ela poderia ser utilizada, por exemplo, para reduzir a pressão sobre as florestas tropicais, prestar outros serviços ecossistêmicos e contribuir no combate ao aquecimento global. Anualmente ocorre a emissão de novos brotos em substituição aos colmos senescentes (envelhecidos), que, se não extraídos, morrem e apodrecem na touceira. Dessa forma, o corte de colmos maduros, além de ser aproveitado como matéria-prima para diversos fins, é um tratamento silvicultural (isto é, que regenera o povoamento florestal), pois a extração proporciona benefícios, aumentando o espaço para o surgimento de novos brotos, resultando em maior produção do bambuzal.

Apesar de todo esse potencial e de algumas iniciativas governamentais para o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu, seu uso ainda é incipiente. A geração de conhecimentos sobre tratamentos adequados para a preservação dos colmos das espécies de bambus nativos é de grande importância para viabilizar seu uso tanto na construção civil como para outros usos em que se faça necessário garantir a sustentabilidade estrutural da matéria-prima, principalmente por ele ser um material com propriedades ainda pouco conhecidas e de domínio tecnológico deficiente.

Na maior parte do mundo ocidental, porém, o interesse e a demanda por essa matéria-prima são eventos recentes. Algumas instituições de pesquisa já têm iniciado estudos para aumentar o conhecimento sobre o potencial de uso das espécies (Marton, 2008). Considerando a área estudada neste trabalho, Silveira (1999) mostra que cerca de 40% da cobertura florestal no Acre tem ocorrência de bambu. Porém poucos estudos aprofundaram o conhecimento existente no que se refere à identificação botânica, taxonomia, volume, espacialização, manejo, colheita e características físicas e mecânicas das espécies da planta. Assim, o enfoque deste trabalho é contribuir para o aumento do conhecimento sobre a estrutura de populações de *Guadua* cf. *superba* e possibilitar a identificação dos usos potenciais desse material com base no estudo de suas propriedades físico-mecânicas.

Material e métodos

A população em estudo está localizada na Reserva Extrativista Chico Mendes, no município de Brasiléia, próxima à divisa com Assis Brasil, tendo como ponto de referência as coordenadas geográficas S10°43'02,2" W69°24'06,5". O acesso à área é feito a partir do Km 85 da BR 317, pelo ramal Santa Luzia, percorrendo-se cerca de 15 km no referido ramal. A área de ocorrência da espécie está localizada às margens do Igarapé Paciente, afluente da margem direita do Rio Xapuri, na "colocação" Água Boa, comunidade do bambuzal, no antigo Seringal Etelve. A floresta onde ocorre essa população de taboca grande é classificada como Floresta Aberta com Bambu e tem uma área de aproximadamente 17 ha. Apesar de dominante nessa área, essa espécie de bambu tem uma ocorrência restrita às áreas temporariamente alagadas, com predominância de argissolos. Quanto à espécie, por suas características morfológicas e pela fisiografia da área onde ocorre, provavelmente se trata de *Guadua superba* Huber (figura 1), conforme observações de Medina e Medina (1965) e Hidalgo-López (2003).





Figura 1. Colmo de *Guadua* cf. *superba*, mostrando o ramo principal com dois ramos laterais, umas das características dessa espécie

ESTRUTURA POPULACIONAL DE G. SUPERBA - Foi realizado levantamento amostral na área de estudo, com a demarcação de uma parcela de 1 ha (100 x 100 m). Nessa parcela foi realizado um censo das touceiras e contados todos os colmos a partir de 3 cm de diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total do colmo (m). Também foi registrado o número de colmos maduros, jovens (verdes) e o total (figura 2).



Figura 2. Inventário e coleta de amostras de *G. superba* na Reserva Extrativista Chico Mendes

RESISTÊNCIA DE COLMOS DE *G. SUPERBA* À DEGRADAÇÃO NATURAL - Os colmos foram cortados com motosserra e transformados em toretes de 120 cm de comprimento, sendo coletadas amostras de 36 colmos. As espécies de bambu, de maneira geral, são altamente susceptíveis ao ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*). Desse modo, para evitar ou minimizar o ataque, os toretes foram submetidos aos seguintes tratamentos: fermentação em água e submersão em soluções de ácido bórico a diferentes concentrações (tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos aplicados e tempo de exposição de amostras de colmos de *G. superba*

Tratamentos	Produtos Usados	Tempo de Imersão (Dias)
1	Fermentação em água	10
2	Solução de ácido bórico a 3 %	7
3	Solução de ácido bórico a 5 %	20

- 1) Colmos, submersos em água, a fermentação elimina parcialmente o amido;
- 2) Após a fermentação, submersão em uma solução de ácido bórico a 3%;
- 3) Submersão dos colmos fermentados em solução de ácido bórico a 5%.

Após o tratamento, as amostras foram postas em local seco e ventilado, coberto e aberto, permanecendo nessas condições por cinco meses. A coleta de dados foi realizada semanalmente, tendo início após estabilização do peso dos colmos – quando as amostras atingiram a umidade de equilíbrio por secagem natural após o tratamento no tanque de imersão, com variação média de até 0,060 g. Para determinar a perda de massa por degradação foram realizadas pesagens periódicas e avaliação visual de sua sanidade. Uma vez que ainda não existe uma tabela de classificação da resistência à degradação natural para o bambu, foi usada a tabela de classes de resistência da madeira a fungos xilófagos (que se alimentam da celulose da madeira) ASTM D - 2017 (1994) para indicar o grau de resistência de cada amostra, com base na perda de massa em porcentagem, medida durante o período de avaliação. A resistência foi classificada pela porcentagem média de perda de massa de acordo com a tabela 2.

Tabela 2. Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos
ASTM D - 2017 (1994)

Classes de Resistência da madeira	Perda de massa (%)
Alta resistência	0 – 10
Resistente	11 – 24
Resistência moderada	25 – 44
Não resistente	≥ 45

Uma análise complementar para determinar o estado de sanidade das amostras foi realizada mensalmente por meio do índice de deterioração de Lepage (1970), adaptado por Trevisan (2006), conforme a classificação mostrada na tabela 3. Para constatar o ataque de fungos xilófagos observados visualmente em cada amostra, foram retirados fragmentos dos colmos e colocados em meio de cultura malte-agar a 3% e 250 mg de cloranfenicol, em condições de temperatura ambiente, e observado se ocorria o crescimento de micélio. Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicado o teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade para a comparação dos tratamentos.

Tabela 3. Classificação do nível de degradação do bambu em ambiente externo

Estado de sanidade	Índice de deterioração
Sadio, sem ataque	100
Ataque leve ou superficial de fungos ou térmitas.	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos ou térmitas.	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas.	40
Quebra: perda quase total de resistência.	0

Fonte: Lepage (1970), adaptado por Trevisan (2006).

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COLMOS DE G. SUPERBA - As provas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC e do Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário – CETEMM, em Rio Branco, AC. Foram coletados 12 segmentos de colmos maduros, de seis touceiras distintas, escolhidas de modo aleatório, em uma área com as seguintes coordenadas de referência: L19 - 0456052 UTM - 8815420. A idade das plantas não era conhecida, mas, pelas características dos colmos, foi estimada entre 4 e 5 anos. Cada colmo foi dividido em três partes de igual comprimento denominadas de acordo com a seção de onde a amostra foi tomada: base, meio e topo. Após esse pro-

cesso foi retirada a parte basal de cada seção para confecção dos corpos de prova, possibilitando a análise das características físicas de cada região do colmo. A confecção dos corpos de prova foi feita de acordo com a norma ISO N314 22157 (ISO, 1999), e os resultados dos ensaios foram calculados com base na norma NBR7190/97 (ABNT, 1997), usada em projetos de estruturas de madeira.

Para caracterização física, foram confeccionados seis corpos de prova de cada seção do colmo, utilizados no ensaio de densidade e teor de umidade, e 12 corpos de prova de cada seção, que serviram para o ensaio de retratibilidade (retração e inchamento). Todos os corpos de prova tinham as dimensões de 2,5 x 2,5cm x espessura da parede do colmo.

Com os índices obtidos nos ensaios de retratibilidade, nas direções tangencial, longitudinal e radial, foi calculado o Coeficiente de Anisotropia da espécie, que corresponde ao grau de variabilidade de suas propriedades físicas dependendo da direção observada. Dessa forma, foi possível avaliar a sua estabilidade dimensional. Vale ressaltar que as variações de retração e inchamento na direção longitudinal (sentido do comprimento das fibras) não foram consideradas neste trabalho, pois o seu valor foi insignificante, estando geralmente abaixo de 1%, tanto para retração quanto para inchamento. Para indicar os principais usos para *G. superba*, foi utilizada uma classificação proposta por Nock et al. (1975), baseada no coeficiente de anisotropia na contração aplicada à madeira – um parâmetro de avaliação de qualidade que considera a variação dimensional da madeira e a relação entre as contrações tangencial e radial, cujas escalas podem ser observadas na tabela 4.

Tabela 4. Classificação quanto à qualidade e utilização indicada para a madeira, de acordo com o coeficiente de anisotropia dimensional na retração

Coeficiente de Anisotropia	Qualidade da Madeira	Utilização indicada
1,2 a 1,5	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, e etc.
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Construção civil (observadas às características mecânicas), carvão, lenha e etc.

Fonte: Nock et al. (1975).

Um dos principais requisitos que indicam a viabilidade das espécies para a fabricação de pisos é a resistência à abrasão, obtida por meio de ensaio mecânico e cuja unidade indicadora chama-se dureza Janka. Estudos demonstram

que a dureza Janka das espécies madeireiras usadas na fabricação de pisos deve ser superior a 650 kgf/cm² (ANPM, 2010). Para o bambu, essa resistência deve ser em torno de 750 kgf/cm² (Ostapiv et al., 2008).

Neste estudo, a dureza Janka foi avaliada em sete colmos selecionados entre os que apresentavam maior espessura de parede e que permitiram a confecção dos corpos de prova para realização dos ensaios. Assim, foram confeccionados 12 corpos de prova por colmo, totalizando 84 amostras, todas produzidas de maneira a possuir nó e um entrenó.

O ensaio foi executado segundo a norma ASTM D1037/78 (ASTM, 1978) de dureza Janka para madeiras. Foram necessárias, no entanto, adaptações para a confecção dos corpos de prova, pois a norma exige corpos com dimensões de 50 mm x 50 mm x 150 mm, impossíveis de se obter com bambu sem o uso de adesivos. Assim, foram usados no ensaio corpos de prova com dimensões reduzidas (10 mm x 30 mm x 150 mm), secos em estufa com circulação de ar até que o conteúdo de umidade não fosse superior a 12%. A dureza Janka foi medida a partir de sua face tangencial, com as 84 amostras sendo submetidas a um ensaio de resistência por meio de três penetrações com a esfera. As médias de cada corpo de prova foram expressas em kgf/cm². Após a aplicação de todas as fórmulas, foi calculada a média dos resultados dos ensaios para cada colmo e realizaram-se análises de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Levantamento populacional da taboca grande na Reserva Extrativista Chico Mendes

Os dados obtidos mostram uma alta densidade e elevada dominância do bambu nessa área. Em média, cada uma das 82 touceiras encontradas ocupa uma área de cerca de 122 m² e a vegetação associada ocupa, geralmente, os espaços entre as touceiras. Verifica-se que o número de colmos maduros é proporcional ao de colmos verdes, situando-se em um patamar aproximado de 50% (tabela 5). Essa é uma característica importante para o manejo, pois permite uma produção continuada de colmos. Com a evolução dos estudos, será possível estimar a extração anual de colmos de forma sustentável.

Tabela 5. Estatísticas descritivas de um levantamento populacional de *Guadua* cf. *superba*) em parcela amostral de 100x100 m. Reserva Extrativista Chico Mendes (Seringal Etelve), Brasília-AC

Indicador	Nº de Touceira	Nº Colmos	Nº Colmos Verdes	Nº Colmos Maduros	Nº Colmos/ Touceira	DAP Colmos (cm)	Altura Colmos (m)
Mínimo*	-	-	-	-	3,00	3,18	4,00
Máximo*	-	-	-	-	63,00	24,10	38,00
Média**	-	-	-	-	19,43	10,76	24,85
TOTAL	82	1593	801	792	-	-	-

* Entre colmos; ** Entre touceiras

Os bambus entouceirantes, em que os colmos nascem todos próximos uns aos outros de forma concêntrica (caso da espécie estudada), possuem rizomas dotados de gemas laterais que dão origem somente a novos rizomas. Muitas dessas gemas permanecem inativas de forma permanente ou temporariamente. Apenas a gema apical (nas extremidades) do rizoma pode dar origem ao um novo colmo e, por consequência, cada rizoma emitirá no máximo um colmo. Esse processo continua de tal maneira que os rizomas se desenvolvem formando uma touceira densa e concêntrica.

A figura 3a mostra a distribuição das touceiras em função do número de colmos que apresentam. Observa-se que há uma ligeira predominância das touceiras com menor número de colmos: cerca de 58% das touceiras apresentaram até 19 colmos e 42% apresentaram entre 20 e 63 colmos, sendo a média touceiras de 19,43 colmos (tabela 5). A distribuição do número de colmos por touceira apresenta uma tendência ao padrão de “J” invertido ou exponencial negativa, como é comum quando se analisa a estrutura da população em florestas tropicais, predominando os indivíduos mais jovens. No caso das touceiras de bambus, esse padrão de distribuição do número de colmos indica um alto potencial de regeneração da comunidade.

Na figura 3b são mostrados os dados de distribuição diamétrica das touceiras em função do diâmetro médio dos colmos. Observa-se que 72 touceiras do total de 82 apresentam diâmetro médio entre 7,50 e 12,40 cm, o que representa cerca de 88% do total. Observa-se a predominância de touceiras na classe intermediária de diâmetro médio de colmos (10 a 12,4 cm), com 50 touceiras ou 61% do total, mostrando um padrão bastante aproximado da distribuição normal. A distribuição das touceiras baseada na altura média dos colmos é mostrada na figura 3c. A análise da distribuição mostra que

predominam touceiras com altura média variando entre 20 e 29,9 m, com um total de 72 das 82 touceiras registradas, ou seja, cerca de 88% do total.

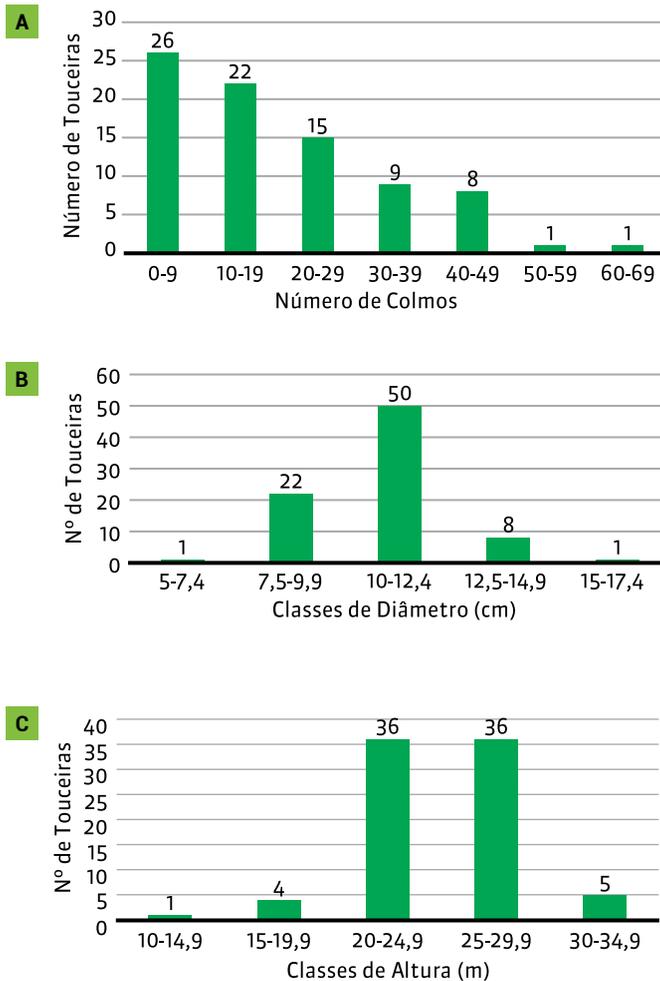


Figura 3. (A) Distribuição das touceiras em função do número de colmos. (B) Distribuição das touceiras em função do diâmetro médio de colmos. (C) Distribuição das touceiras em função da altura média de colmos. Reserva Extrativista Chico Mendes (Seringal Etelve), Brasiléia-AC

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE COLMOS DE *G. SUPERBA* À DEGRADAÇÃO NATURAL

- A classificação das amostras quanto à resistência ao ataque é apresentada na tabela 6. Os resultados obtidos mostraram que não houve diferença significativa entre as amostras tratadas com as diferentes concentrações de bórax utilizadas. Por outro lado, a presença do preservante reduziu significativamente a perda de massa em relação ao tratamento testemunha, aumentando a resistência dos colmos à degradação, passando da categoria “não resistente” para “resistência moderada” e melhorando as condições de preservação de *G. superba*.

Tabela 6. Degradação de amostras de colmos de *Guadua cf. superba* submetidas a tratamentos com bórax e a classificação quanto à resistência ao ataque. N= 12

Tratamentos	Perda de massa (%)*	Resistência
Bórax 5%	37,25 b	Resistência moderada
Bórax 3%	37,62 b	Resistência moderada
Testemunha	48,34 a	Não resistente
DMS = 6,99; CV=17,00%; Média geral = 41.06		

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dessa forma, foi obtido o índice médio de deterioração das amostras de taboca grande, cujo resultado é apresentado na tabela 7. O índice de deterioração das amostras foi classificado como ataque evidente, mas moderado, de fungos ou insetos, com uma média de 30% de ataques moderados em todas as amostras, independentemente do tratamento. Esses resultados indicam que o índice de deterioração de Lepage (1970) não foi eficiente para avaliar o efeito dos tratamentos. Sua aplicação, no caso do bambu, deve ser feita com cuidado, pois mesmo sem a diferenciação visual do ataque entre os tratamentos, houve a redução da perda de massa das amostras, conforme ficou demonstrado com o uso do método das pesagens periódicas (ASTM D – 2017, 1994), o que mostra o efeito, ainda que moderado, das soluções preservantes.

Tabela 7. Índice de deterioração do bambu *G. superba*, após o tratamento com Bórax. Baseado na classificação proposta para a madeira por Lepage (1970)

Produtos	Nº de amostras	Índice de deterioração (%)				
		100	90	70	40	0
Bórax 3%	12			X		
Bórax 5%	12			X		
Testemunha	12			X		

DENSIDADE BÁSICA, APARENTE E TEOR DE UMIDADE DE *G. SUPERBA* - A densidade ou massa específica é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, não sendo diferente para o bambu, pois está relacionada diretamente com propriedades como resistência mecânica, grau de alteração dimensional (retração e inchamento) e perda ou absorção de água (Lobão & Pereira, 2005). Na tabela 8 são apresentados os valores médios de densidade aparente, densidade básica e teor de umidade nas diferentes seções dos colmos.

Tabela 8. Densidades básica e aparente de *G. superba*, em amostras coletadas de diferentes posições no colmo. N = 6

Posição no colmo	Densidade básica (g/cm ³)*	Densidade aparente (g/cm ³)*
Base	0.40 b	0.55 b (19,24%)
Meio	0.51 a	0.70 a (17,80%)
Topo	0.55 a	0.75 a (18,77%)
Média Geral	0.49	0,67
Coef. de Var. (%)	10.50	11.83
Dif. Mín Signif.	0.08	0.12

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao teor médio de umidade das amostras.

Observa-se que, estatisticamente, a densidade básica e aparente na região basal são menores que a densidade nas seções média e do topo do colmo – já entre estas não há diferença significativa. A média geral da densidade básica foi de 0,49 g/cm³, enquanto para a densidade aparente foi de 0,67 g/cm³. Esses valores são relativamente próximos dos relatados por Azzini et al. (1972) onde a densidade para espécies dos gênero *Guadua* varia de 0,45 g/cm³ a 0,65 g/cm³. A menor densidade na região da base está ligada a vários fatores, dentre eles a estrutura anatômica da parede interna do colmo nessa seção onde, geralmente, há maior espessura e porosidade.

Segundo Souza et al. (1997), as densidades das madeiras são classificadas como leve, média ou alta de acordo com os seguintes valores: Leve – densidade básica $\leq 0,50 \text{ g/cm}^3$; Média – densidade básica de $0,50 \text{ g/cm}^3$ a $0,72 \text{ g/cm}^3$; Alta – densidade básica $\geq 0,72 \text{ g/cm}^3$. Utilizando essa escala, de modo geral os colmos do bambu nativo *G. superba* podem ser classificados como material de densidade leve; mas, se considerados apenas os segmentos do meio ao topo, a densidade chega a ser mediana.

RETRATIBILIDADE, INCHAMENTO E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE *G. SUPERBA* - De acordo com Bodig e Jayne (1992), por ser um material higroscópico, o bambu (assim como a madeira) absorve umidade da atmosfera quando está seco e a libera quando está úmido, procurando atingir um equilíbrio com as condições de umidade do ar. Ao absorver água as dimensões das peças de bambu aumentam, fenômeno conhecido por inchamento e, ao liberar água, as dimensões diminuem, fenômeno denominado retração.

Na tabela 9 são apresentadas respectivamente as médias da retração e do inchamento tangencial e radial calculadas para cada colmo, assim como os resultados do coeficiente de anisotropia nas condições de retração e inchamento para cada uma das seções das seis amostras de colmos. Observa-se que, tanto na retração quanto no inchamento, os coeficientes de anisotropia nas diferentes seções do colmo não diferem estatisticamente entre si, no entanto o coeficiente calculado para a região basal se mostra inferior em relação às demais em ambos os casos. A média geral do coeficiente de anisotropia na retração calculado para o *G. superba* foi de 1,45 e o coeficiente calculado no inchamento foi de 1,53.



Tabela 9. Médias da retração e inchamento tangencial, radial e coeficiente de anisotropia (CA) de *G. superba*. N=12

Amostra/ Colmo	Base			Meio			Topo		
	Tang. %	Radial %	CA	Tang. %	Radial %	CA	Tang. %	Radial %	CA
Retração									
1	12,90	8,74	1,48	11,12	7,11	1,57	10,24	8,10	1,26
2	9,57	8,67	1,10	10,70	7,55	1,42	10,79	7,58	1,42
3	6,81	7,05	0,97	13,98	7,87	1,78	13,48	8,06	1,67
4	13,00	8,82	1,47	9,83	5,66	1,74	15,91	8,44	1,89
5	13,93	8,40	1,66	14,47	9,31	1,55	15,3	8,91	1,72
6	7,31	7,02	1,04	9,06	6,73	1,35	7,52	6,84	1,11
Média	10,59	8,12	1,29*	11,53	7,37	1,57*	12,21	7,99	1,51*
Inchamento									
1	14,87	9,58	1,55	12,68	7,67	1,65	11,48	8,82	1,30
2	10,63	9,50	1,12	12,01	8,17	1,47	12,25	8,21	1,49
3	7,34	7,60	0,97	16,36	8,55	1,91	15,76	8,77	1,80
4	15,14	9,70	1,56	10,98	6,00	1,83	19,29	9,22	2,09
5	16,28	9,17	1,77	17,18	10,29	1,67	18,2	9,82	1,85
6	7,90	7,58	1,04	10,08	7,22	1,40	8,15	7,35	1,11
Média	12,03	8,85	1,34*	13,21	7,98	1,66*	14,19	8,70	1,61*

*Não houve diferença entre as médias de CA, nas colunas, pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$). Médias gerais para CA: retração = 1,45; inchamento = 1,53.

De acordo com a proposição de Nock et al. (1975), mostrada na tabela 4, esses resultados classificam *G. superba* como um material de excelente qualidade, apresentando grande estabilidade dimensional, principalmente em sua região basal.

Assim, os colmos de *G. superba* se caracterizam como material relativamente leve e com boas características físicas de densidade e estabilidade dimensional, que se configura como alternativa de matéria-prima para a fabricação de forros e divisórias, tendo em vista que tais componentes não exigem grande esforço mecânico.

DUREZA JANKA - A variável resistência à dureza apresentou uma amplitude de 108,0 a 251,8 kgf/cm², com uma média de 166,0 kgf/cm² e um coeficiente de variação de 16,7% (tabela 10). Todas as amostras foram confeccionadas de maneira a possuir um nó e foi verificado que a resistência foi diretamente influenciada pela região do nó: os pontos tomados mais próximos dessa área foram os que apresentaram maior resistência pela maior concentração de fibras de paredes espessas.

Tabela 10. Resultados médios de dureza Janka, obtidos da análise de 12 corpos de provas provenientes de amostras de sete colmos de *Guadua cf. superba*, coletados em Brasília, AC

Amostra/ Colmo	1	2	3	4	5	6	7	Média Geral	CV%
Dureza Janka (kgf/cm ²)	174,1	160,5	167,5	152,8	176,7	165,2	165,3	166,0	16,7

O valor obtido para dureza Janka de *G. superba* foi inferior ao citado na literatura para usos como piso – entre 650 kgf/cm² (ANPM, 2010) e 750 kgf/cm² (Ostapiv et al., 2008) –, o que mostra a necessidade de aprofundar estudos quanto à aplicação de tratamentos físicos e químicos que possam aumentar a sua resistência à abrasão. Dessa forma, esse material não deve ser indicado para uso *in natura* para a fabricação de piso, devendo antes passar por tratamentos que venham a aumentar a sua dureza. Atualmente, a fabricação de pisos de bambu é possível por um processo industrial para a obtenção de madeira maciça, conhecido internacionalmente como Strand Woven Bamboo (SWB). Por esse processo, o colmo ripado é esgarçado em máquinas apropriadas, para “soltar” as fibras, sendo então impregnado em resinas adesivas, colocado em moldes metálicos e prensado com pressões variáveis, de acordo com o uso a ser dado ao material. Assim, o produto obtido (tábuas, vigas, etc – conforme o molde utilizado) adquire elevada dureza, atingindo densidades que podem ser superiores às de madeiras tropicais.

Apesar dessa restrição de uso, os colmos de *G. superba* apresentam outras características que o classificam como um material de boa qualidade, que pode ser usado para outros fins como a confecção de painéis e produtos derivados que não necessitem de grandes esforços mecânicos sobre a sua superfície (forros, paredes, portas etc). Ressalta-se, porém, a necessidade da aplicação de tratamentos para aumentar a durabilidade dos produtos, os quais são amplamente conhecidos e disponíveis na literatura sobre uso do bambu. No entanto, há possibilidade de inovação nessa área, devendo ser incentivadas pesquisas para desenvolver novos métodos de tratamento eficientes e ambientalmente inócuos.



Conclusões

1. A população de *G. superba* estudada se encontra em equilíbrio dinâmico. O número de colmos maduros corresponde aproximadamente ao número de colmos verdes, possibilitando a sustentabilidade do manejo;
2. Os tratamentos de preservação aplicados reduzem a perda de massa e melhoram a resistência dos colmos, porém essa resistência é apenas moderada, sendo necessária a aplicação de tratamentos de preservação mais efetivos para aumentar a durabilidade do material;
3. Os colmos de *G. superba* apresentam grande estabilidade dimensional, podendo ser usados para a confecção de painéis e produtos derivados, não submetidos a forte abrasão. Sua dureza *in natura* é inferior ao necessário para usos que exijam maiores esforços mecânicos, como pisos. Todavia, os colmos podem ser transformados em madeira maciça, por processo industrial, para adquirir a resistência recomendada.

Agradecimentos

Ao técnico Antônio Bezerra do Nascimento, pela ativa participação em todas as fases deste trabalho;

Ao Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário (GETEMM), do Governo do Estado do Acre, pela cessão do espaço para confecção dos corpos de prova e ensaios complementares;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento deste trabalho.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190: Projetos de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107 p.

ANPM – **Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira**. Disponível em: <<http://www.anpm.org.br/>>. Acesso em 18 mai. 2010.

ASTM – American Society for Testing and Materials. D 1037/78. **Dureza Janka para madeiras**. São Paulo, 1978.

- ASTM – American Society for Testing and Materials. D: 2017: Standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v.410, p.324-328, 1994.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; NAGAI, V. (1977). Número de feixes vasculares em três espécies de bambu. **Bragantia**, Campinas, 36, 7-10.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; NAGAI, V. Celulose de bambu. In: Congresso Nacional da ABCP, 5, São Paulo, 1972. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1972. 201p.
- BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1992. 712 p.
- CLARK, L.G. Diversity and biogeography of oetropical bamboos (Poaceae: Bambusoideae). **Acta Botanica Brasílica**, 4, 125-132, 1990.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Ed. Oscar Hidalgo-López: Bogotá, Colômbia, 2003. 553p.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Brazilian Woods Database**. Disponível em: <www.ibama.gov.br/lpf/madeira/foreword.htm>. Acesso em 15 mai. 2010.
- ISO – International Organization for Standardization. **TC 165 N314 - 22157: Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo**. ISO, 1999. 20p.
- LEPAGE, E.S. Método padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de Madeiras**, São Paulo, v.1, n.4, p.205-216, 1970.
- LOBÃO, M.S.; PEREIRA, K.R.M. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira** – Universidade Federal do Acre, Departamento de Ciências agrárias – Rio Branco/AC. 2005. 44p. il. – (série tecnologia da madeira, v.1, n.1).
- LONDOÑO, X.; PETERSON, P.M. *Guadua sarcocarpa* (Poaceae:Bambuseae), a new species of Amazonian bamboo with fleshy fruits. **Syst. Bot.**, v.16, 630-638, 1991.
- LONDOÑO, X.P. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambues del nuevo mundo. **Cespedezia**, v. 19, 87-137, 1992.
- MARTON, G.L. **Produção de compensados de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) utilizando adesivos à base de fenol e uréia**. Seropédica, RJ. 2008.
- MEDINA, J.C.; MEDINA, D.M. Observações citológicas em *Guadua superba* Huber. **Bragantia**, 24, LXIII-LXVIII, 1965.
- NOCK, H.P.; RICHTER, H.G.; BURGER, L.M. Tecnologia da madeira. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 1975. 216p.
- OSTAPIV, F.; SALAMON, C.; YAMAJI, F.M.; MATOS, J.L.M. **Determinação da dureza de tábuas de bambu mossô (*Phyllostachys pubescens*) pela norma Janka e Brinell**. Floresta (UFPR), 2008.
- SILVEIRA, M. Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern Amazonia: an ethnoscience perspective. **Ecotropica**, v.5, p.213-216, 1999.
- SOUZA, M.H. de; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J.A.A.; colaboração de SOUZA, M.R. de. **Madeiras tropicais brasileiras – brazilian tropical woods**. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, 1997. 152p.
- TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais**. 2006. 56 p. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais e florestais) Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006. Disponível em: <www.if.ufrj.br/pgcaf/pdfdt/dissertação%20Henrique%20Trevisan.pdf>. Acesso em 08 jun. 2010.



Bambus nativos como espécies invasoras no sul do Brasil



André Eduardo Biscaia de Lacerda⁽¹⁾ e Betina Kellermann⁽¹⁾

⁽¹⁾ Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111,
Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil.
E-mails: andre.biscaia@embrapa.br, betina.kellermann@gmail.com

RESUMO – As alterações antrópicas dos ambientes naturais, em especial os processos de fragmentação e degradação florestal, criaram uma janela de oportunidade para o desenvolvimento de densas populações de bambus nativos, considerados agentes do empobrecimento de *hábitats* e redução de espécies em remanescentes florestais no sul do Brasil. Com o intuito de testar tal hipótese, apresentamos, neste artigo, resultados de um monitoramento de médio prazo (2007-2012) da regeneração natural na Estação Experimental da Embrapa em Caçador (SC), região de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista, em áreas com e sem a dominância de espécies de bambus nativas invasoras, em especial a taquara-lixá (*Merostachys skvortzovii*). Para a análise do efeito da taquara sobre a dinâmica da regeneração natural, foram marcadas aleatoriamente e monitoradas 40 parcelas permanentes de 225 m², distribuídas igualmente nas subtipologias estudadas: florestas primárias (floresta com araucária) e taquarais (florestas de bambu). Observamos uma diversidade significativamente menor de espécies da população de regenerantes em áreas dominadas pela taquara. As baixas diversidade e densidade observadas nas áreas dominadas pela taquara sugerem que tal espécie tende a restringir o desenvolvimento de outras espécies, impedindo o crescimento sucessional das florestas. A estagnação sucessional tem impactos importantes para a conservação das florestas da região e demanda ações de manejo.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: MEROSTACHYS SKVORTZOVII, TAQUARA, MANEJO FLORESTAL, FLORESTA COM ARAUCÁRIA, MATA ATLÂNTICA.

Native bamboo as invasive species in Southern Brazil

Abstract – Anthropogenic changes of natural environments, especially the processes of fragmentation and forest degradation, have created a window of opportunity for the development of dense populations of native bamboo, considered habitat depleting and reduction of species agents in forest remnants in Southern Brazil. In order to test this hypothesis, we present, in this article, the results of a medium-term monitoring (2007-2012) of the natural regeneration in the Embrapa Research Station in Caçador (SC), a region of occurrence of Mixed Ombrophilous Forest, in areas with and without the dominance of native species of invasive bamboos, especially the *Merostachys skvortzovii* species. In order to analyze the effect of bamboo on the dynamics of natural regeneration, we randomly selected and monitored 40 permanent plots of 225 m², equally distributed in the studied subtypes: primary forest (*Araucaria*) and *taquarais* (with bamboo). We observed a significantly lower species diversity of regenerating population in areas dominated by bamboo. The low diversity and density observed in areas dominated by bamboo suggest that this species tends to restrict the development of other species, preventing the successional forest growth. Successional stagnation has important impacts on forest conservation in the region and demands management actions.

INDEX TERMS: MEROSTACHYS SKVORTZOVII, BAMBOO, FOREST MANAGEMENT, ARAUCARIA FOREST, ATLANTIC FOREST.

Introdução

O uso intensivo de recursos naturais e a conversão do uso da terra têm alterado significativamente as áreas naturais, resultando na fragmentação de tais ambientes em nível global (Riitters et al., 2000). Os fragmentos florestais remanescentes sofreram, em sua maioria, algum nível de exploração direta de seus recursos naturais, o que acarretou a alteração de seus *hábitats*, da composição de suas espécies e de seus processos ecológicos (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2014). Tais alterações criam condições ideais para a ocupação de espécies oportunistas de rápido crescimento e, por vezes, invasoras. Embora o termo espécie “invasora” seja normalmente atrelado às “exóticas” (não autóctones), que causam impactos econômicos e ecológicos negativos (Beck et al., 2008), espécies nativas (autóctones) tam-

bém podem vir a causar danos que rivalizam com os acarretados pelas tradicionalmente consideradas como invasoras (Carey et al., 2012) e, portanto, recebem tal denominação.

Em várias regiões do mundo, a degradação dos fragmentos florestais tem propiciado um intenso aumento populacional de bambus, que, por sua vez, está atrelado às modificações na estrutura e composição florísticas desses fragmentos, assim como às mudanças nos processos hidrodinâmicos e de ciclagem de nutrientes de seus respectivos ecossistemas (Abe et al., 2002; Martins et al., 2004; Taylor et al., 2004; Holz & Veblen, 2006). Embora o papel invasivo e degradante de populações de bambus ainda esteja, em grande parte, ausente das discussões técnico-científicas e das políticas públicas ligadas à conservação e ao uso dos recursos naturais, a dimensão dessa problemática já foi detectada em diferentes ecossistemas do mundo (Hassol & Katzenberger, 2008; Tomimatsu et al., 2011; Suzuki, 2015).

O Inventário Florestal-Florístico de Santa Catarina (Vibrans et al., 2013a, 2013b) detectou a frequente presença de bambus nativos nos fragmentos florestais avaliados. Pode-se inferir que parte significativa deles no sul do Brasil encontra-se sob pressão ecológica e possivelmente em processo de empobrecimento do componente arbóreo decorrente da ocupação em larga escala de espécies nativas de bambu que assumem caráter invasivo, tais quais as taquaras (*Merostachys skvortzovii*). Tais observações, aliadas a trabalhos de outros autores (Budke et al., 2010; Kellermann, 2011; Lacerda & Kellermann, 2013) demonstram a importância de avaliar com maior precisão a abrangência e os impactos que tais espécies têm sobre a conservação das florestas daquela região.

Uma abordagem conceitual para a influência dos bambus sobre a dinâmica florestal foi desenvolvida por Griscom e Ashton (2003; 2006). Esta indica que o comportamento invasor dos bambus em florestas maduras estaria associado apenas parcialmente à abertura do dossel florestal como resultado da queda de árvores por ventanias. Os mesmos autores afirmam ainda que a baixa biomassa das florestas dominadas por bambus estaria relacionada tanto com eventos catastróficos, quanto pelo efeito combinado e adicional do caráter invasor dessa planta (crescimento e reprodução em taxas superiores às das espécies florestais), e à capacidade supressora da regeneração natural arbórea via supressão física e por competição (Griscom & Ashton, 2003). Finalmente, esses autores sugerem que a distribuição da população de bambus sofreria variações cíclicas em função da floração (e disseminação de sementes) e morte sincronizada de suas populações, possibilitando a regeneração de árvores ou uma nova fase de invasão de bambus.

Embora espécies de bambus sejam encontradas naturalmente em ecossistemas florestais primários do sul do Brasil, as condições ideais para se tornarem uma espécie dominante ocorrem em áreas de florestas primárias alteradas e em florestas secundárias. No caso das florestas remanescentes primárias, os efeitos sobre a dinâmica florestal causados por espécies invasoras são de difícil observação em função da quase inexistência desses tipos florestais. Além disso, a dinâmica florestal em florestas primárias ocorre em longo prazo e é condicionada à abertura de clareiras quando da morte e queda de indivíduos arbóreos longínquos, quando então pode haver o desenvolvimento acentuado de bambus nativos que passam a encontrar condições lumínicas ideais para seu desenvolvimento (Campanello et al., 2007). Embora os efeitos dos bambus sobre os fragmentos florestais sejam parcialmente conhecidos, a dinâmica de crescimento, produtividade e regeneração de tais espécies ainda é pouco estudada, principalmente em decorrência do fato de esses processos ocorrerem em larga escala e envolverem longos ciclos de vida (Abe et al., 2002; Martins et al., 2004; Taylor et al., 2004; Holz & Veblen, 2006). As espécies de bambus possuem rápido crescimento, com produção de biomassa e serapilheira em geral muito superior à das espécies florestais (Christanty et al., 1996). Exemplos de bambus que apresentam caráter invasor em fragmentos florestais foram identificados em vários locais do mundo e em vários ecossistemas, por exemplo no Japão (Abe et al., 2002; Tomimatsu et al., 2011; Suzuki, 2015), na Argentina (Campanello et al., 2007) e no Brasil (Budke et al., 2010; Kellermann, 2011; Lacerda & Kellermann, 2013).

Especificamente em relação à América do Sul, Hassol e Katzenberger (2008) observaram que florestas dominadas por bambus arborescentes são mais suscetíveis a incêndios quando da mortalidade sincronizada dos mesmos. Os autores afirmam que florestas dominadas por bambus cobrem 92.000 km² do sudoeste da Amazônia brasileira e 122.000 km² de florestas no Peru e Bolívia. McMichael et al. (2014) citam que no sudoeste da região amazônica uma área aproximada de 160.000 km² está coberta por florestas dominadas por bambus (*Guadua* sp.) e que essa fisionomia pode ser explicada pela ocupação de grupos pré-colombianos, sendo estes determinantes para o entendimento da cobertura da vegetação daquela região. Ainda na América do Sul, alguns trabalhos discutem a ocorrência de densas populações de bambus e seus efeitos potenciais na dinâmica florestal. Campanello et al. (2007) observaram que, em florestas semideciduais da Argentina, bambus nativos inibem a abundância e a riqueza de espécies arbóreas em clareiras, sendo, dessa forma, modificadores das fases iniciais de regeneração natural (clareiras) e podem afetar a cobertura e a composição florística das florestas



no longo prazo. Os autores ainda indicam a necessidade do desenvolvimento de técnicas de manejo florestal para o aumento da capacidade produtiva das florestas estudadas.

No Rio Grande do Sul, estudo realizado em uma área de ecótono (transição entre comunidades vegetais) entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual mostrou que a mortalidade sincronizada de bambus nativos possibilitou um aumento da diversidade de espécies com potenciais alterações na dinâmica sucessional das florestas estudadas (Budke et al., 2010). Entretanto, tal incremento pode ser passageiro e restrito até o restabelecimento das populações de bambu, assim como foi verificado em trabalhos de longo prazo (Lacerda & Kellermann, 2013). Ainda no sul do Brasil, tem-se observado que a reincidência da taquara (especialmente as espécies *Merostachys skvortzovii* e *Merostachys multiramea* Hackel) após a morte de suas populações está relacionada à disponibilidade de condições ambientais locais (luminosidade), sendo que, no caso da existência de uma regeneração natural arbórea competitiva, o desenvolvimento de novas populações é possivelmente retardada (Kellermann, 2011), com impactos diretos sobre a diversidade de espécies (Lacerda & Kellermann, 2013).

A compreensão da amplitude dos impactos ecológicos dos bambus sobre fragmentos florestais junto ao desenvolvimento de técnicas de manejo são questões essenciais para a conservação dos fragmentos das florestas ombrófilas do sul do Brasil. Nesse contexto, exploraremos, neste artigo, o conhecimento científico disponível quanto aos efeitos ecológicos da ocorrência de bambus como espécies dominantes e, frequentemente, como invasoras, para contextualizar os resultados de um estudo de médio prazo no qual avalia-se a dinâmica de sistemas florestais sujeitos à presença de bambus nativos invasores. Discute-se, ainda, a importância do manejo dos bambus nativos invasores para a conservação das florestas do sul do Brasil.

Material e métodos

ÁREA DE ESTUDO - O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental da Embrapa em Caçador (EEEC), de propriedade da Embrapa e contígua à Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina em Caçador (Epagri), ambas localizadas a sudeste do município de Caçador, entre as coordenadas geográficas 26°50'32,69" e 26°52'36,73" S e 50°54'51,69" e 51°58'40,36" W, região centro-oeste do estado de Santa Catarina. A EEEEC compreende uma área de 1.257 hectares, dos quais 94% pos-

suem cobertura florestal, um dos últimos remanescentes de grandes dimensões da Floresta Ombrófila Mista no estado. Desde 2002 a EEEC constitui uma área-piloto para projetos liderados pela Embrapa Florestas em conjunto com instituições parceiras.

Na EEEC são encontrados atualmente remanescentes primários alterados e florestas secundárias em diversos estágios sucessionais que podem conter indivíduos de grande porte remanescentes da floresta primária. Além dessas fitofisionomias, ainda se observam extensas áreas dominadas pelas taquaras, em especial por *Merostachys skvortzovii*, popularmente conhecidas como taquarais (Kellermann, 2011; Lacerda et al., 2012; Kellermann et al., 2013; Lacerda & Kellermann, 2013). Os taquarais são formados por agrupamentos contínuos e densos de taquaras entremeados por indivíduos de espécies pioneiras arbóreas que compõem um dossel aberto. Embora as taquaras dominem e caracterizem um tipo próprio de cobertura vegetal, essa espécie de gramínea ocorre muito frequentemente nas demais tipologias florestais citadas e, à exceção de áreas primárias pouco alteradas, tende a ocupar de forma agressiva o sub-bosque.

MONITORAMENTO DA REGENERAÇÃO NATURAL - No presente trabalho, estudamos o efeito da taquara sobre a dinâmica da regeneração natural por meio do monitoramento comparativo entre tipologias florestais da EEEC em situações sucessionais distintas: florestas primárias pouco alteradas e florestas secundárias em fase inicial com dominância de bambus nativos (taquarais). As florestas primárias (floresta com araucária – FA) possuem dossel dominado por *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, além de estratos inferiores típicos desta formação florestal. Já os taquarais (florestas de bambu – FB) são florestas jovens, com um único estrato arbóreo dominado por espécies pioneiras, em especial a bracatinga (*Mimosa scabrela* Benth) e o vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme) e taquaras (*Merostachys skvortzovii* e, menos comumente, *Chusquea* sp.). Já o sub-bosque é dominado exclusivamente por taquaras.

Neste estudo, foram marcadas aleatoriamente 40 parcelas permanentes de 225 m² (15 x 15 m), distribuídas igualmente entre os dois tipos florestais acima descritos, as quais foram monitoradas entre os anos de 2007 e 2012. Dentro de cada parcela, 5 subparcelas de 1,5 x 1,5 m (2,25 m²) foram instaladas, nas quais, efetivamente, foi realizado o monitoramento da regeneração natural das espécies arbóreas. Em cada subparcela, todos os indivíduos maiores que 0,1 m de altura e menores que 9,99 cm de DAP (diâmetro à altura do peito) foram marcados, identificados e medidos quanto às suas alturas.

A metodologia utilizada segue padrão estabelecido em outros experimentos existentes na EEEEC e foi descrita por Kellermann (2011), seguindo a classificação de Finol (1971) para as classes de regeneração natural e Budowski (1965) para a classificação dos grupos ecológicos (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax). A análise fitossociológica da regeneração natural foi realizada por meio do programa computacional “Mata Nativa 3” (Cientec), utilizando-se os parâmetros tradicionais desse tipo de estudo (Daubenmire, 1968; Finol, 1971; Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). No que diz respeito à análise de diversidade, estimou-se o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') (Brower et al., 1998; Krebs, 1999; Magurran, 2004) e suas significâncias por meio do teste t sugerido por Hutcheson (1970) no nível de $\alpha = 0,05$. O programa computacional EstimateS 8.0 (Colwell, 2013) foi usado para o cálculo do número de espécies compartilhadas entre os tipos florestais estudados. Finalmente, em 2013, estimou-se a densidade de taquaras por meio da contagem do número de colmos em duas subunidades de 3 m^2 ($1 \times 3 \text{ m}$) aleatoriamente marcadas em cada parcela.

Resultados e discussão

No levantamento da regeneração natural realizado entre os anos de 2007 e 2012, foram identificadas 62 espécies arbóreas, distribuídas entre 29 famílias botânicas, totalizando 1.627 indivíduos monitorados. O número total de espécies medido anualmente mostrou, de maneira geral, uma tendência crescente, com 51 espécies em 2007 e 58 em 2012 (tabela 1). Apesar de tal tendência, houve pequena diminuição na riqueza geral entre 2011 e 2012 (59 e 58 espécies, respectivamente).

A riqueza observada para “floresta com araucária” (FA) teve variação com tendência positiva durante o período, sendo o menor valor em 2007 (41 espécies) e o maior em 2012 (53) (figura 1 e tabela 1). Entre o primeiro e o último ano de avaliação houve um aumento de 23% na diversidade de espécies para FA. Já a “floresta de bambu” (FB) mostrou tendência mais estável. Foram observadas 30 espécies em 2007 e 29 em 2012. Os valores extremos variaram de 28 (2009) a 32 espécies (2011), ou seja, uma variação geral de 12,5%.

A diversidade de espécies avaliada através do índice de Shannon-Wiener (H') mostrou diferenças estatisticamente significativas entre as duas tipologias florestais durante todo o período (tabela 1). Em relação aos resultados de H' para cada tipologia isoladamente, observou-se que, no período de medições, houve pouca variação para FA (3,23-3,35), enquanto que, para FB, em

geral, houve variação positiva (2,08-2,69). O aumento progressivo dos valores obtidos na FB é consequência da diminuição no número de indivíduos de algumas espécies pioneiras que ocorriam em grande quantidade em 2007. Por haver uma distribuição mais homogênea da densidade das diferentes espécies, espera-se um aumento no resultado do índice de Shannon, que é fruto de uma maior equabilidade (*evenness*), ou seja, da distribuição da abundância das espécies.

Tabela 1. Resultados da análise de diversidade de espécies entre o tipo florestal "floresta com araucária" (FA) e "floresta de bambu" (FB) para o período entre 2007 e 2012

S_{FA} – número de espécies do tipo floresta com araucária

S_{FB} – riqueza do tipo floresta de bambu

$Excl_{FA}$ – número de espécies exclusivas à floresta com araucária

$Excl_{FB}$ – número de espécies exclusivas à floresta de bambu

H'_{FA} – índice de Shannon para floresta com araucária

H'_{FB} – índice de Shannon para floresta de bambu

S_{COMUM} – número de espécies compartilhadas por ambas tipologias florestais em um mesmo ano de avaliação

S_{TOTAL} – riqueza total para cada ano

* significativo no nível de $\alpha=0.05$ para teste t.

Ano	Parâmetros de diversidade por tipologia florestal						Parâmetros gerais de diversidade	
	Floresta com araucária			Floresta de bambu			S_{COMUM}	S_{TOTAL}
	S_{FA}	$Excl_{FA}$	H'_{FA}	S_{FB}	$Excl_{FB}$	H'_{FB}		
2007	41	21	3,23	30	10	2,08*	20	51
2009	48	23	3,34	28	3	2,38*	25	51
2010	52	25	3,35	31	4	2,54*	27	56
2011	51	27	3,30	32	8	2,69*	24	59
2012	53	29	3,29	29	5	2,66*	24	58
Diversidade geral de espécies							62	

A seca sincronizada das taquaras ocorrida em 2005-2006 incorreu em abertura significativa de espaço no dossel e estratos inferiores, aumentando a intensidade da radiação solar disponível aos indivíduos regenerantes de forma similar ao descrito por Campanello et al. (2007) e Martins et al. (2004). Tal aumento de luminosidade em clareiras é um processo determinante da diversidade, estrutura e evolução de florestas como já discutido por vários autores (Denslow, 1987; Connel, 1989; Rebertus & Burns, 1997). Essa alteração tende a beneficiar a germinação e o crescimento de espécies florestais que permanecem dormentes (e com crescimento estagnado), favorecendo,

dessa forma, o desenvolvimento abundante de pioneiras arbóreas logo após a seca da taquara, como observado no ano de 2007 (figura 1). Embora com menor densidade, a seca sincronizada da taquara na FA também criou uma janela de oportunidade para a germinação e o desenvolvimento de espécies arbóreas por um período mais longo do que o observado em FB, fato este explicado por um desenvolvimento mais lento das novas plantas de taquara em FA condicionado a uma menor disponibilidade de luz neste tipo florestal. Apesar de uma riqueza crescente em FA, a baixa abundância das espécies não anteriormente observadas parece explicar a homogeneidade dos resultados do índice de Shannon. Por outro lado, a queda acentuada na densidade das espécies mais abundantes resultou em uma distribuição mais uniforme da abundância entre as espécies, explicando o aumento de Shannon após o ano de 2010.

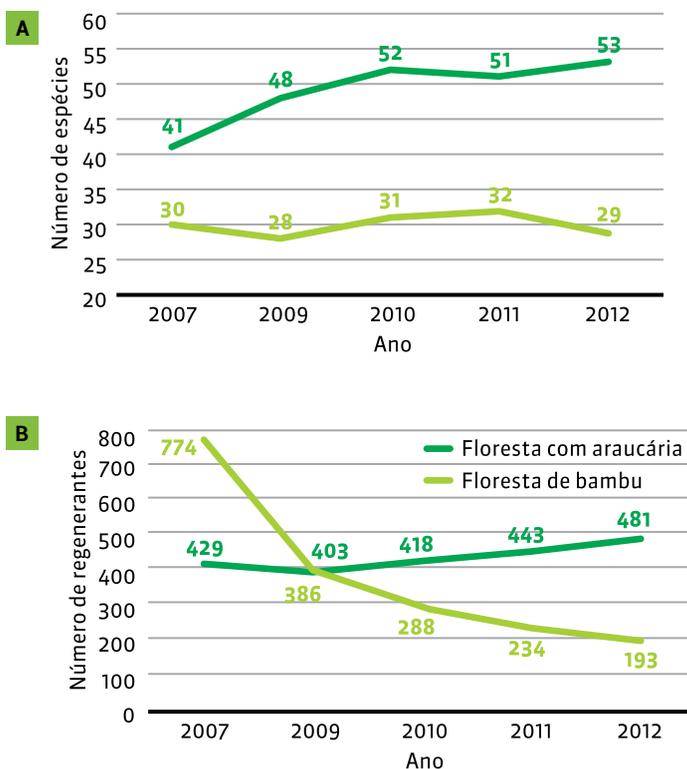


Figura 1. Resultados do monitoramento do número de espécies (A) e de regenerantes (B) nas duas tipologias florestais estudadas (floresta com araucária – FA e floresta de bambu – FB)

Os resultados das avaliações da riqueza e o índice de Shannon mostram que florestas sob o efeito de populações densas de taquaras têm tendência a se manterem com baixa diversidade por períodos mais longos e não restritos ao fenômeno da seca sincronizada dos taquarais. Concomitante à estagnação da diversidade de espécies, as florestas de bambu são rapidamente repovoadas por densa população composta de indivíduos de taquara oriundos da germinação de sementes. No presente estudo, observou-se que, passados três anos após a seca da taquara (2010), populações jovens eram extremamente densas e já alcançavam alturas próximas aos dois metros. Em levantamento da densidade das taquaras efetuado em 2013, observou-se, para florestas de bambu, uma média de 72.500 colmos por hectare (3.333-156.667), enquanto que em florestas com araucária observou-se 42.778 colmos por hectare (0-136.667). Tais observações são inferiores às descritas por Biscaia et al. (2005), que reportaram 102.500 colmos por hectare para florestas com dossel aberto em Floresta com Araucária em General Carneiro (PR), possivelmente explicadas pelo tempo após a seca da taquara a partir do qual os estudos foram realizados. Nesse sentido, junto ao amadurecimento dos taquarais, há uma diminuição da densidade populacional resultante da competição intraespecífica. Embora os taquarais caracterizem uma tipologia florestal (FB), também são encontradas populações desses bambus em florestas com araucária (FA). Nesses casos, no entanto, sua presença é bastante variada e dependente da ocorrência de clareiras. Assim, o ritmo de crescimento e a abundância das taquaras são comparáveis apenas a poucas espécies florestais (pioneiras) que conseguem desenvolver-se em meio aos indivíduos de taquara, criando um ambiente florestal de dossel uniforme e relativamente aberto (pioneiras) e um sub-bosque homogêneo e denso (taquaras).

O número de indivíduos apresentou variação significativa especialmente para FB, que decresceu no número de regenerantes em 75% entre 2007 e 2012 (774 e 193 regenerantes, respectivamente, figura 1b). Já FA variou negativamente no início para, a partir de 2010, mostrar tendência de aumento no número de regenerantes. Entre 2007 e 2012, esse número aumentou por volta de 10,8%. Enquanto a mortalidade observada em FB durante o período de estudo é resultado direto de intensa competição inter e intraespecífica típica das fases sucessionais iniciais, assim como sugerido por Griscom et al. (2003, 2006) e Budke et al. (2010), o aumento no número de regenerantes em FA parece ser um fenômeno mais complexo. As espécies da FA são, em sua maioria, tolerantes à sombra e de crescimento mais lento em relação às pioneiras e responderam progressivamente à seca da taquara com aumento



gradativo de regenerantes de espécies secundárias tardias e clímax (figura 2c) atrelado ao repovoamento muito mais lento das taquaras em áreas mais sombreadas típicas da FA. Já as poucas pioneiras que se desenvolveram logo após a seca da taquara (2007) nas áreas de FA, estas permaneceram até 2010, quando houve clara diminuição de suas densidades (figura 2d), o que parece ser coerente com o processo natural de mortalidade em função da falta de luminosidade e com o desenvolvimento das populações de taquaras, que, embora com crescimento notavelmente mais devagar que em FB, já passaram a ocupar espaços disponíveis a partir de 2011.

O monitoramento da densidade de regenerantes em FB, avaliado conforme a classificação ecológica das espécies, mostrou resultados esperados para ambientes sujeitos à disponibilidade lumínica e, portanto, propícios às espécies pioneiras. Assim, após germinação intensa e crescimento rápido de espécies pioneiras, suas densidades diminuíram rapidamente (figura 2b), em processo ainda não estabilizado. Já para as espécies mais tolerantes à sombra e de crescimento lento, foi observada uma aparente estabilidade no número de regenerantes (figura 2a), confirmando a menor capacidade dessas espécies de competir com as pioneiras e utilizar o recurso (luz) em maior quantidade. Como exceção, a imbuia (*Ocotea porosa* (Nees & Martius) Barroso) parece ter comportamento distinto das demais, mostrando um aparente aumento gradual de sua população de regenerantes. Tal comportamento é coerente com as características ecológicas da espécie, que possui capacidade de tolerância a ambientes sombreados, a exemplo das áreas dominadas por taquaras.

O monitoramento da regeneração natural desenvolvido neste estudo confirma a hipótese de que, nas florestas secundárias, e em especial nas fases sucessionais arbóreas iniciais, as taquaras desenvolvem-se competindo com as espécies arbóreas. Nossas observações mostram que em FB, após uma intensa regeneração das espécies arbóreas ocorrida imediatamente após a seca da taquara, esse tipo florestal foi rapidamente repovoado por essa espécie de bambu em processo simultâneo a uma importante diminuição na densidade de regenerantes.

No decorrer do desenvolvimento sucessional da floresta, concomitante ao desbaste natural e conseqüente redução do número de indivíduos de árvores, pode ocorrer o aumento da disponibilidade de luz no sub-bosque, quando então as taquaras encontram condições lumínicas apropriadas para seu desenvolvimento, ou podem eventualmente ser suprimidas quando as espécies arbóreas pioneiras se desenvolvem em agrupamentos de alta densidade. Embora a eliminação das taquaras via competição com espécies pio-

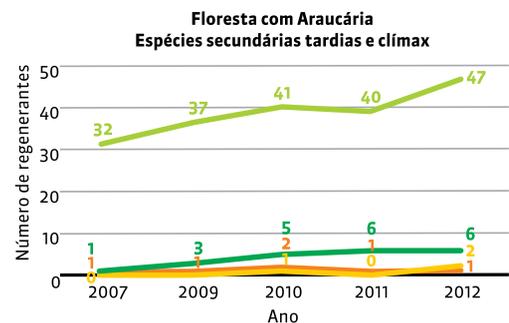
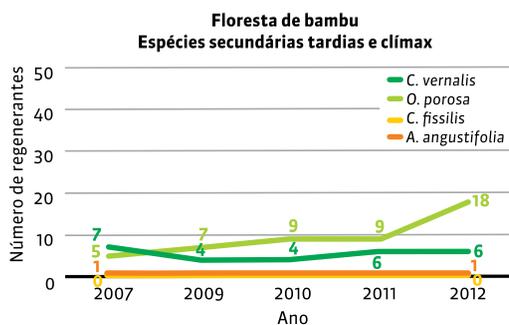
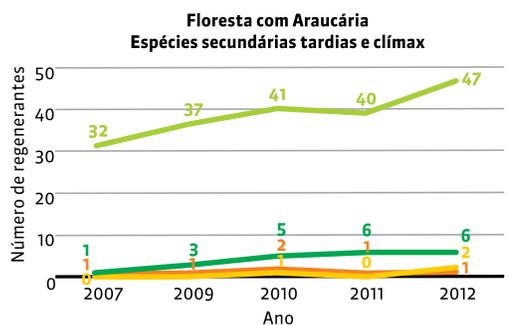
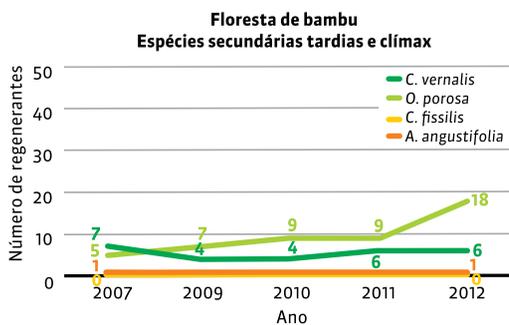


Figura 2. Dinâmica populacional e da diversidade de espécies conforme classificação ecológica das espécies observadas para a floresta com araucária (FA) e com bambus (FB) durante o período de 2007 e 2012

neiras arbóreas seja possível, não foi possível observar indicações de sua ocorrência na área de estudo. Dessa forma, não obstante o tempo necessário para o desenvolvimento de associações dominadas por bambus, isto é, via invasão de fragmentos primários como em florestas secundárias, há uma tendência ao longo do tempo de redução do componente arbóreo e consequente substituição gradual por cobertura de taquara (Kellermann, 2011).

Assim, a presença de taquaras teria um efeito determinante na organização e estabilidade das comunidades florestais, impactando sua diversidade e estrutura, mantendo um estreito ciclo no qual o processo sucessional é mantido em fases iniciais caracterizadas pela associação de espécies arbóreas pioneiras com taquaras (figura 3).

As possíveis direções de desenvolvimento sucessional condizem com a visão de organização e desenvolvimento elaborada por Connell e Slatyer (1977). Segundo tais autores, uma vez assegurado o espaço (ou recursos), as espécies colonizadoras impedem a subsequente entrada de colonizadores ou o crescimento daquelas espécies já presentes. O desenvolvimento das espécies presentes estaria condicionado à morte ou ao dano significativo das colonizadoras inibidoras, caracterizando o modelo de inibição. Alternativamente, colonizadoras iniciais modificam o ambiente, tornando-o inadequado a novo recrutamento dessas mesmas espécies e liberando espaço para outras espécies de características mais exigentes se instalarem. Quando a comunidade formada por colonizadoras beneficia a subsequente entrada de outras espécies, temos o modelo de facilitação. Quando não interferem no estabelecimento de novas comunidades, temos o modelo de tolerância.

Os resultados obtidos no presente trabalho vêm confirmar a rota descrita no modelo de inibição e possibilitaram a elaboração de um esquema adaptado à Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária), no qual o modelo de inibição exemplificado mostra um processo sucessional. Nesse processo, as taquaras atuam inibindo o recrutamento de espécies de fases subsequentes da sucessão ecológica e mantêm um ciclo repetitivo em fases sucessionais iniciais (figura 3). Essas fases teriam escala temporal atrelada ao ciclo de vida da taquara (30 anos, aproximadamente) e coincidente ao das espécies arbóreas pioneiras típicas da região, como a bracatinga (*M. scabrela*) e o vassourão-branco (*P. angustifolia*). Tal entendimento é apoiado pelas observações de que o efeito supressor dos bambus sobre as populações de regenerantes e indivíduos jovens parece se dar tanto pela diminuição da oferta de radiação solar às demais espécies (Campanello et al., 2007; Montti et al., 2011), quanto por danos físicos causados pela quebra e entortamento dos fustes dos indivíduos jovens dessas espécies (Griscom & Ashton, 2006).

O efeito inibidor dos bambus nativos de comportamento invasor parece estar associado a impactos ecológicos negativos para a conservação da biodiversidade e para a manutenção de serviços ambientais inerentes às florestas. A maioria dos fragmentos florestais no sul do Brasil é composta de florestas secundárias em estágios iniciais e médios de sucessão, comunidades estas especialmente suscetíveis à colonização invasiva de bambus. Assim, para que os fragmentos florestais possam cumprir em sua plenitude seus objetivos de conservação da biodiversidade regional e dos recursos ambientais, é premente que sejam implementadas ações voltadas ao manejo das populações de bambus, de modo a permitir o pleno desenvolvimento sucessional das florestas remanescente do sul do Brasil. Finalmente, a ocorrência frequente de florestas dominadas por bambus, que, aliadas à sua grande densidade, oferecem oportunidade de desenvolvimento de produtos à sua base, amplia a gama de produtos florestais passíveis de utilização e, ao mesmo tempo, garante a recuperação das florestas do sul do Brasil.



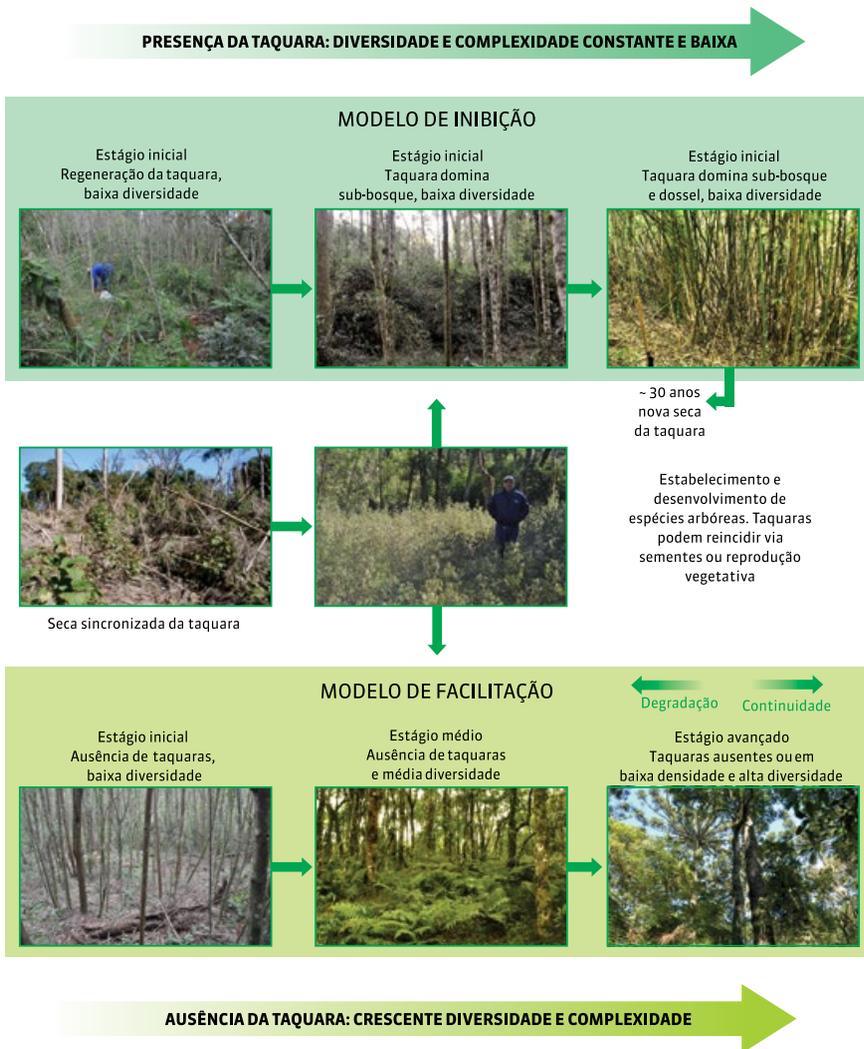


Figura 3. Hipótese sugerida do impacto de bambus invasores no processo sucessional de florestas no sul do Brasil a partir de adaptação do modelo sugerido por Connell e Slatyer (1977)

Conclusões

1. Florestas dominadas por populações de taquaras (espécie de bambus nativos) são menos diversas que florestas dominadas por espécies arbóreas.
2. As taquaras que ocorrem em grandes densidades reduzem a viabilidade da radiação solar, impedindo, dessa forma, o desenvolvimento de espécies florestais.
3. A diminuição da diversidade vegetal, junto ao intenso sombreamento do subbosque, vai ao encontro da hipótese levantada por outros autores que indicam que as taquaras mantêm comunidades florestais indefinidamente sob sua influência, em estágios sucessionais iniciais, e em escala temporal atrelada ao seu ciclo de vida (30 anos, aproximadamente).
4. O empobrecimento dos remanescentes florestais do sul do Brasil em função da dominância de bambus nativos invasores requer a implementação de ações de manejo florestal de forma a garantir a conservação de tais florestas no longo prazo.

Agradecimentos

Aos colegas da Embrapa Arnaldo Soares e Carlos Roberto Úrio, pelo incansável apoio nos trabalhos de campo, à colega Maria Izabel Radomski, pelas sugestões e revisão deste artigo, e a Maria Augusta D. Rosot, pelo suporte técnico.

Referências

- ABE, M.; IZAKI, J.; MIGUCHI, H.; MASAKI, T.; MAKITA, A.; NAKASHIZUKA, T. The effect of Sasa and canopy gap formation on tree regeneration in an old beech forest. **Journal of Vegetation Science**, v.13, n.4, p.565-574, 2002.
- BECK, K.G.; ZIMMERMAN, K.; SCHARDT, J.D.; STONE, J.; LUKENS, R.R.; REICHARD, S.; RANDALL, J.; CANGELOSI, A.A.; COOPER, D.; THOMPSON, J.P. Invasive species defined in a policy context: recommendations from the Federal Invasive Species Advisory Committee. **Invasive Plant Science and Management**, v.1, n.4, p.414-421, 2008/10/01 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1614/IPSM-08-089.1>>. Acesso em 24 abr. 2015.
- BISCAIA, A.G.; SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D. Seca da taquara (*Merostachys multiramea* Hackel) e a problemática do fogo. In: II SEMINÁRIO DE ATUALIDADES EM DE PROTEÇÃO FLORESTAL, 2005. Blumenau, SC. **Anais do Seminário de Proteção Florestal: Blumenau-SC**: 2005.



- BROWER, J.E.; ZAR, J.H.; VON ENDE, C.N. **Field & laboratory methods for general ecology**. 4 ed. Boston: McGraw-Hill, 1998. 273p.
- BUDKE, J.C.; ALBERTI, M.S.; ZANARDI, C.; BARATTO, C.; ZANIN, E.M. Bamboo dieback and tree regeneration responses in a subtropical forest of South America. **Forest Ecology and Management**, v.260, n.8, p.1345-1349, 2010.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain Forest species in the light of successional processes. **Turrialba**, v.15, n.1, p.40-42, 1965.
- CAMPANELLO, P.I.; GATTI, M.G.; ARES, A.; MONTTI, L.; GOLDSTEIN, G. Tree regeneration and microclimate in a liana and bamboo-dominated semideciduous Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v.252, n.1-3, p.108-117, 2007.
- CAREY, M.P.; SANDERSON, B.L.; BARNAS, K.A.; OLDEN, J.D. Native invaders – challenges for science, management, policy, and society. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.10, n.7, p.373-381, 2012.
- COLWELL, R.K. **EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples**. Version 9, 2013. Disponível em: <purl.oclc.org/estimates>.
- CONNELL, J.H. Some processes affecting the species composition of forest gaps. **Ecology**, v.70, p.560-562, 1989.
- CONNELL, J.H.; SLATYER, R.O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, v.111, n.982, p.1119-1144, 1977.
- CHRISTANTY, L.; MAILLY, D.; KIMMINS, J.P. Without bamboo, the land dies: biomass, litter-fall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system. **For. Ecol. Manage.**, v.87, p.75-88, 1996.
- DAUBENMIRE, R.F. **Plant communities: a text book of plant synecology**. Nova York: Harper and Row, 1968. 300p.
- DENSLOW, J.S. Tropical rain forest gaps and tree species diversity. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.18, p.431-451, 1987.
- FINOL, U.H. Nuevos parámetros a considerarse en el análisis estructural de las selvas virgenes tropicales. **Revista Forestal Venezolana**, v.14, n.21, p.29-42, 1971.
- GRISCOM, B.W.; ASHTON, P.M.S. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. **Forest Ecology and Management**, v.175, p.445-454, 2003.
- GRISCOM, B.W.; ASHTON, P.M.S. A self-perpetuating bamboo disturbance cycle in a neotropical forest. **Journal of Tropical Ecology**, v.22, p.587, 2006.
- HASSOL, S.J.; KATZENBERGER, J. **Changes in global vegetative patterns and their relationship to human activity**. Aspen: AGCI, 2008. 123p.
- HOLZ, C.A.; VEBLEN, T.T. Tree regeneration responses to *Chusquea montana* bamboo die-off in a subalpine Nothofagus forest in the southern Andes. **Journal of Vegetation Science**, v.17, n.1, p.19-28, 2006.
- HUTCHESON, K. A test for comparing diversities based on the shannon formula. **Journal of Theoretical Biology**, v.9, p.151-154, 1970.
- KELLERMANN, B. Monitoramento da regeneração natural em fragmento de floresta ombrófila mista e morfoanatomia de plântulas e tirodendros de *Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme (Asteraceae). 2011. 140p. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- KELLERMANN, B.; LACERDA, A.E.B.; ROSOT, M.A. Bamboo influence on natural regeneration – a case study in an araucaria forest fragment in Brazil. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE IUFRO, 2013. San José.
- KREBS, C.J. **Ecological methodology**. 2 ed. Amsterdam, Holland: Addison Wesley, 1999. 620p.
- LACERDA, A.E.B.; KELLERMANN, B. When native species become invasive: the case of bamboos in fragmented forests of southern Brazil. In: ESA, 98TH ANNUAL MEETING OF THE ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 2013. Minneapolis.
- LACERDA, A.E.B.; ROSOT, M.A.D.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GARRASTAZÚ, M.C.; NIMMO, E.R.; KELLERMANN, B.; RADOMNSKI, M.I.; BEIMGRABEN, T.; MATTOS, P.P. de; OLIVEIRA, Y.M.M. de. Sustainable forest management in rural southern Brazil: exploring participatory forest management planning. In: DIEZ, J.J. (Ed.). **Sustainable Forest Management – Case Studies**. InTech, 2012, p.97-112.
- MAGURRAN, A.E. **Measuring biological diversity**. Oxford, UK: Blackwell publishing, 2004.
- MARTINS, S.V.; JÚNIOR, R.C.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Colonization of gaps produced by death of bamboo clumps in a semideciduous mesophytic forest in south-eastern Brazil. **Plant Ecology**, v.172, n.1, p.121-131, 2004.
- MCMICHAEL, C.H.; PALACE, M.W.; GOLIGHTLY, M. Bamboo-dominated forests and pre-Columbian earthwork formations in south-western Amazonia. **Journal of Biogeography**, v.41, n.9, p.1733-1745, 2014.
- MONTTI, L.; CAMPANELLO, P.I.; GATTI, M.G.; BLUNDO, C.; AUSTIN, A.T.; SALA, O.E.; GOLDSTEIN, G. Understory bamboo flowering provides a very narrow light window of opportunity for canopy-tree recruitment in a neotropical forest of Misiones, Argentina. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.1360-1369, 2011.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. 1974. 547p.
- REBERTUS, A.J.; BURNS, B.R. The importance of gap processes in the development and maintenance of oak savanas and dry forest. **Journal of Ecology**, v.85, p.635-645, 1997.
- RIITTERS, K.; WICKHAM, J.; O'NEILL, R.; JONES, B.; SMITH, E. Global-scale patterns of forest fragmentation. **Ecology and Society**, v.4, n.2, 2000.
- SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Global Biodiversity Outlook 4**. UNEP. Montreal, 2014. 155p.
- SUZUKI, S. Chronological location analyses of giant bamboo (*Phyllostachys pubescens*) groves and their invasive expansion in a satoyama landscape area, western Japan. **Plant Species Biology**, v.30, n.1, p.63-71, 2015.
- TAYLOR, A.H.; JINYAN, H.; SHIQIANG, Z. Canopy tree development and undergrowth bamboo dynamics in old-growth Abies–Betula forests in southwestern China: a 12-year study. **Forest Ecology and Management**, v.200, n.1-3, p.347-360, 2004.
- TOMIMATSU, H.; YAMAGISHI, H.; TANAKA, I.; SATO, M.; KONDO, R.; KONNO, Y. Consequences of forest fragmentation in an understory plant community: extensive range expansion of native dwarf bamboo. **Plant Species Biology**, v.26, n.1, p.3-12, 2011.
- VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L.; LINGNER, D.V. **Floresta ombrófila densa**. Blumenau, Brasil: Edifurb, 2013a, 576 p.
- VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L.; LINGNER, D.V. **Floresta ombrófila mista**. Blumenau, Brasil: Edifurb, 2013b. 440p.



Dinâmica sucessional de espécies arbóreas sob influência de *Merostachys multiramea* Hack. em mata atlântica subtropical



Jean Carlos Budke⁽¹⁾, *Elisabete Maria Zanin*⁽¹⁾,
Giamarco Dariva⁽¹⁾, *Rafael Weirich*⁽¹⁾, *Fernando Elias*⁽²⁾,
Beatriz Schwantes Marimon⁽²⁾ e *Bem Hur Marimon Junior*⁽²⁾

⁽¹⁾ Programa de Pós-graduação em Ecologia, Laboratório de Sistemática e Ecologia Vegetal (ECOSSIS), Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI Erechim). Av. Sete de Setembro 1621, Erechim-RS, Brasil. CEP 99700-000. E-mails: jean@uricer.edu.br, emz@uricer.edu.br, giamarcod@gmail.com e rwairich@gmail.com

⁽²⁾ Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC), Laboratório de Ecologia Vegetal (Labev), Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat). Av. Dr. Renato F. Varella s/n, Nova Xavantina-MT, Brasil. CEP 78690-000. E-mails: fernandoeliasbio@gmail.com, biamarimon@unemat.br, bhmjunior@gmail.com

Resumo – As bambúseas são componentes importantes na estruturação de florestas, podendo interferir diretamente na sua complexidade e dinâmica. Neste trabalho, avaliamos a estrutura florestal, incluindo a regeneração de espécies arbóreas após a morte e queda de *Merostachys multiramea*, espécie de bambu distribuída em florestas semidecíduas subtropicais, com períodos de seca fisiológica durante o ano. Quantificamos a abundância de colmos, formação de touceiras, presença de espécies arbóreas regenerantes e variáveis como umidade, temperatura do ar, luminosidade e abertura do dossel florestal em áreas com e sem a presença de bambu. A morte e queda da espécie gerou mudanças nítidas nos parâmetros ambientais, favorecendo a regeneração florestal. Áreas sem bambu apresentaram poucas mudanças estruturais ao longo do tempo de avaliação. Após quatro anos, com o restabelecimento das plântulas dessa espécie nas áreas que originalmente ocupavam, a regeneração florestal tornou-se menor. Apenas espécies arbóreas com rápido crescimento se estabeleceram nas áreas com maior densidade de touceiras previamente, condicionando a sucessão florestal à janela de tempo entre morte e

reestabelecimento da população de bambus. Perfis de diversidade evidenciaram que as áreas de clareiras apresentaram maior riqueza, equabilidade e diversidade do que as áreas com menor abertura de dossel. A *Merostachys multiramea*, portanto, é determinante na estrutura florestal das áreas onde ocorre.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: DESCONTINUIDADE DE DOSSEL, DISTINÇÃO TAXONÔMICA, PERFIS DE DIVERSIDADE, RADIAÇÃO DIRETA E DIFUSA.

Sucessional dynamics of tree species influenced by *Merostachys multiramea* Hack in subtropical Atlantic Forest

Abstract – *Bamboos are strictly relevant in structuring forests worldwide as they may interfere both with forest complexity and dynamics. In this contribution, we focused on forest structure that included tree regeneration after Merostachys multiramea dieback, which is an interesting species distributed in subtropical semi-deciduous forests. We quantified culms abundance and clumps development, the presence of regenerating tree species, and variables such as humidity, air temperature, lighting conditions and canopy openness in sites with and without bamboo. We observed that bamboo dieback drastically changed environmental variables, which favored tree regeneration. In non-bamboos areas, no significant changes occurred over time. Furthermore, four years after dieback, with the reestablishment of the seedlings of the species in the areas they originally occupied, tree regeneration was lower. Only fast-growing tree species settled, mainly in sites with previous high clumps density. This pattern leads to distinct projections to forest succession, conditional upon this dieback-timing window. Diversity profiles showed that gap areas had higher richness, evenness and diversity, as well as distinct tree composition, than those within continuous canopy cover. Merostachys multiramea thus determines forest structure in the areas it occurs, changing drastically the successional process across the dieback events.*

INDEX TERMS: CANOPY OPENNESS, TAXONOMIC DISTINCTNESS, DIVERSITY PROFILES, DIRECT AND DIFFUSE LIGHT.



Introdução

A estrutura florestal muitas vezes reflete processos autogênicos, ou seja, ligados a fatores internos ao sistema, incluindo a competição por luz, demanda de polinizadores e dispersores, além da interação com distúrbios, os quais podem se refletir em padrões florestais em escalas distintas ao longo do espaço e do tempo. A compreensão de distúrbios regulares que ocorrem em grandes escalas de tempo (como décadas), gerados pela própria dinâmica das espécies, é muitas vezes dificultada pelo longo período entre suas ocorrências ou pela ausência de regularidade (Lytle & Poff, 2004).

Esse é o caso, por exemplo, da dinâmica de clareiras produzidas pela morte e queda de bambúseas. Esses vegetais apresentam um fascinante ciclo de vida que pode variar entre 3 e 120 anos e culmina em florações geralmente sincrônicas, ou seja, um único evento de reprodutivo com massiva produção de sementes (McClure, 1993), de ampla distribuição, que envolve uma larga proporção ou até mesmo as populações inteiras.

Devido ao rápido crescimento e à alta produção de biomassa e de matéria orgânica acumulada sobre o solo após sua morte (serapilheira) (Christanty et al., 1996), o bambu é frequentemente associado a efeitos negativos sobre o recrutamento, sobrevivência e crescimento de plântulas (estágio inicial de desenvolvimento do vegetal, logo após a germinação) de espécies arbóreas (Campanello et al., 2007) e a distúrbios na estruturação de florestal de todo o mundo (Abe et al., 2001; Martins et al., 2004; Taylor et al., 2004; Holz & Veblen, 2006).

A dominância de bambúseas em algumas fitofisionomias (conjuntos vegetais com características morfológicas próprias) tem sido amplamente documentada nos últimos anos (Holz & Veblen, 2006; Campanello et al., 2007; Marchesini et al., 2009; Rother et al., 2009). Entretanto, ainda há pouca informação sobre os impactos ecológicos desses processos sobre a dinâmica florestal, particularmente nos primeiros anos após a floração, frutificação e subsequente morte das bambúseas (Marchesini et al., 2009). Modelos conceituais relacionando a invasão e dominâncias em estandes florestais ainda são raros pela ausência dos eventos de floração.

Uma abordagem conceitual foi apresentada por Griscom e Ashton (2003). Eles evidenciaram que bambúseas podem invadir florestas em estágio avançado de sucessão com estruturação parcialmente aberta, resultante de quedas de árvores pelo vento. A menor área basal arbórea (circunferência média do caule das árvores) em áreas dominadas por bambúseas poderia ser resultado não apenas da dinâmica dessas espécies, mas também do efeito combina-

do entre distúrbios intermediários e a capacidade das espécies agressivas de invadirem áreas florestadas com múltiplas clareiras e excluírem plântulas de espécies arbóreas, seja por exclusão mecânica ou pela competição por recursos (Griscom & Ashton, 2003). Os autores também sugerem que as populações de bambúseas poderiam retrair-se ou voltar a se expandir, dependendo da regeneração das próprias espécies arbóreas.

Por outro lado, após a morte e queda das bambúseas, as clareiras resultantes podem experimentar distintas mudanças tanto nas condições ambientais quanto nos padrões de recrutamento (que indicam sua possibilidade de dispersão e sobrevivência de novas plantas). Embora Gonzáles e Donoso (1999) tenham estimado a entrada de cerca de 50 milhões de sementes ha^{-1} durante a frutificação de *Chusquea quila* Kunth em florestas de *Nothofagus* no sul do Chile, as relações entre composição e densidade da chuva de sementes onde ocorriam grandes bambúseas, como *Guadua tagoara* (Nees) Kunth, não acarretaram mudanças drásticas (Rother et al., 2009).

Nesse contexto, uma questão primordial a ser discutida é se a composição e diversidade de regeneração de espécies arbóreas é influenciada pela morte e queda de bambúseas florestais. Algumas evidências obtidas em florestas temperadas indicam um processo gradual de enriquecimento das clareiras com plântulas de espécies arbóreas (Abe et al., 2001; Holz & Veblen, 2006). Outros trabalhos, no entanto, verificaram a interrupção do recrutamento de arbóreas em florestas temperadas do Chile, dominadas por bambúseas do gênero *Chusquea* (Veblen, 1989), e também em áreas da China dominadas por coníferas do gênero *Abies* (Taylor & Zisheng, 1988). Em florestas subtropicais biodiversas, Campanello et al. (2007) demonstraram que as bambúseas inibiram a abundância e riqueza em clareiras por elas dominadas.

O presente estudo avaliou o estabelecimento de espécies arbóreas, quatro anos após a floração, morte e queda massiva de *Merostachys multiramea* Hack., uma bambúsea de ampla distribuição no sul do Brasil, procurando identificar o papel dessa espécie na estruturação de florestas subtropicais biodiversas, pouco tempo depois da sua morte e queda.

Nossas principais questões são: i) o dossel florestal (camada superior da cobertura vegetal) e parâmetros como umidade do ar e temperatura variam com a presença de clareiras geradas pela morte de *M. multiramea*? ii) as condições ambientais influenciam a produção e a altura dos colmos (caule típico) das plântulas de bambu, incluindo rebrotos, após seu novo recrutamento? iii) a composição e diversidade da regeneração arbórea varia ao longo dessas áreas após a queda e morte da bambúsea? Partimos da hipótese de que a regeneração da bambúseas seria maior em áreas de clareiras geradas a partir de

sua própria morte e que a diversidade da regeneração florestal seria maior nas áreas com baixa densidade de bambúseas, seguida por mudanças nítidas na composição de espécies entre áreas com e sem bambus.

Material e métodos

ÁREA DE ESTUDO - *Merostachys multiramea* Hack. é uma bambúsea monocárpica (com um único episódio reprodutivo em toda sua vida), cuja floração massiva ocorre entre 31-33 anos (Schmitt & Longhi-Wagner, 2009). O último período reprodutivo da espécie registrado no sul do Brasil ocorreu entre 2006 e 2007. Este estudo foi conduzido no Horto Florestal Municipal de Erechim, localizado na região norte do Rio Grande do Sul (coordenadas centrais em 27°38'03" S e 52°16'26" W), com clima regional subtropical; temperatura média anual de 17,6 °C e precipitação média 1912mm, sem estação seca definida. A região é abrangida pela Floresta Estacional Semidecídua e pela Floresta Estacional Sempre-Verde com Araucaria (Oliveira-Filho et al., 2015), com árvores adultas atingindo mais de 25m de altura e densas touceiras de bambúseas que ocupam entre 40 a 100 m². Após o evento de floração e morte da espécie, formaram-se clareiras de distintos tamanhos. Nessas áreas, as sementes cobriram toda a extensão e houve uma explosão demográfica de animais que se alimentam de sementes de plantas (granívoros), também registrada em diversas localidades do sul da América (Jaksic & Lima, 2003).

DESENHO AMOSTRAL E COLETA DE DADOS - Para avaliar essas questões, alocamos 25 unidades amostrais (UA) permanentes de 10 x 10m em duas situações: i) clareiras formadas pela morte e queda da bambúseas (13 UAs) e ii) áreas com dossel contínuo sem bambúseas (12 UAs). As UAs foram distribuídas de forma aleatória em cada uma das situações acima descritas. A descrição das áreas avaliadas incluiu a amostragem de todas as árvores com diâmetro à altura do peito maior ou igual a cinco centímetros (DAP ≥ 5 cm). O levantamento da regeneração incluiu todas as plântulas maiores que 30 cm de altura até 1 m. As espécies foram identificadas em campo ou comparadas com o acervo do Herbário Padre Balduino Rambo – HPBR. A regeneração de *M. multiramea* foi avaliada a partir da contagem de todas as plântulas, denominadas a partir daqui como densidade de bambúseas (número de touceiras) e da medição de todos os colmos e da altura total de cada touceira. Para assegurarmos que áreas sem bambúseas prévias pudessem ser demarcadas, quantificamos os colmos mortos em cada UA previamente.

A descontinuidade de dossel (abertura de dossel) foi avaliada a partir de fotografias hemisféricas obtidas no ponto central de cada UA, a partir de uma máquina fotográfica Canon EOS300, acoplada a uma lente hemisférica conversora Raynox DCR-CF. Todas as fotografias foram obtidas em dia nublado constante, a 1,5 m de altura do solo, posicionadas a partir do Norte relativo de cada unidade amostral. A abertura de dossel foi calculada pelo programa GapLight Analyzer 2.0 (Frazer et al., 1999), gerando uma estimativa indireta da radiação solar de cada UA. Medidas complementares de luminosidade foram obtidas a partir de um luxímetro (aparelho utilizado para medir a luminosidade). Variáveis microambientais incluíram medições de temperatura instantânea do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), as quais foram obtidas a partir de quatro medições em cada UA durante a captura das imagens hemisféricas.

ANÁLISE DE DADOS - Comparamos as variáveis ambientais de luminosidade, abertura de dossel, umidade e temperatura do ar, densidade de indivíduos arbóreos, área basal e métricas relacionadas a bambúseas (densidade, número de colmos por touceira, altura dos colmos e colmos mortos por UA) em clareiras e áreas de dossel contínuo. Testes não paramétricos de Mann-Whitney foram aplicados quando os dados não apresentaram normalidade (caso de luminosidade, abertura de dossel, área basal, altura e número de colmos por UA).

Para se avaliar os padrões de regeneração e suas relações com variáveis ambientais, aplicamos um escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) baseado numa matriz de distâncias euclidianas que incluiu todas as espécies com abundância maior ou igual a cinco indivíduos. Uma segunda matriz abrangeu todas as variáveis ambientais, incluindo as variáveis estruturantes de *M. multiramea*: número de colmos, número médio de colmos por touceira, altura média dos colmos e número de colmos mortos. Após uma análise preliminar, eliminamos todas as variáveis com correlação maior que 0,7 (área basal, luminosidade, altura média dos colmos) e procedemos à análise final de ordenação.

Para verificar possíveis diferenças entre a composição de espécies das áreas com e sem bambúseas, aplicou-se uma análise de variância multivariada não-paramétrica (NPMANOVA), gerada a partir de distâncias de Bray-Curtis entre UAs (Anderson, 2001). A significância da análise foi verificada utilizando os escores do teste F, com 10.000 somas de quadrados aplicadas aleatoriamente sobre os dados brutos.

Para testar se a morte, queda e subsequente regeneração da bambúseas promoveu mudanças na diversidade de espécies entre as áreas, aplicamos um

perfil de diversidade aos distintos tratamentos (clareiras e dossel contínuo) de acordo com séries de Rényi (Tóthmérész, 1995), nas quais $H_\alpha = (\ln(p_1^\alpha + p_2^\alpha + p_3^\alpha + \dots + p_n^\alpha)) / (1-\alpha)$, sendo que H_α é o índice de diversidade a um parâmetro específico ($\alpha \geq 0, \neq 1$) e $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ são as proporções de cada indivíduo das espécies 1, 2, 3..., n . Dessa forma, um valor de α próximo a zero é similar ao número de espécies (densidade de espécies); um valor α próximo a 1 é próximo ao índice de diversidade de Shannon e um valor de α próximo a 2 é igual ao índice inverso de Simpson ($1/D$).

Finalmente, de modo a verificar se os distintos tratamentos (clareiras e dossel contínuo) apresentaram regeneração com maior ou menor distinção taxonômica, aplicaram-se os índices Δ^* e $\Delta+$ com dados de abundância (Clarke & Warwick, 2001), os quais avaliam a distância gerada em um dendrograma construído a partir de níveis taxonômicos (considerando neste caso os níveis de Gênero, Família e Ordem), partindo-se da premissa de que quanto maior a distância existente entre os braços do dendrograma construído para cada UA, maior é a respectiva distinção taxonômica “ Δ ” daquela UA (Clarke & Warwick, 2001). Todas as análises foram obtidas por meio do programa R 3.2.0 (R Development Core Team 2015) por meio do pacote *vegan* 2.2.1 (Oksanen et al., 2015).

Resultados e discussão

FORMAÇÃO DE CLAREIRAS - Após o evento de floração e frutificação, a morte da bambúseas gerou diversas clareiras de tamanhos distintos, a maioria com nítida diferenciação do entorno adjacente. Pelo fato de *M. multiramea* apresentar distribuição agregada, observou-se padrão de poucos indivíduos arbóreos nessas áreas, entretanto sem distinção na área basal total (tabela 1). A formação de clareiras aumentou drasticamente os níveis de luminosidade destas áreas, com abertura de dossel variando de $7,9 \pm 1,7$ em áreas de dossel contínuo para $21,4 \pm 8$ nas clareiras. Essas mudanças na cobertura florestal elevaram a incidência de radiação direta e difusa, ocasionando maior temperatura média do ar e menor umidade relativa do ar nas áreas de clareiras.

Tabela 1. Variáveis ambientais em áreas de dossel contínuo e clareiras associadas à morte e queda de *M. multiramea* numa floresta estacional semidecídua subtropical. Valores são médias \pm DP obtidas nas UAs (100 m²)

	Clareiras	Dossel contínuo	p
Área basal de árvores adultas (m ²)	0,76 \pm 0,5	0,52 \pm 0,3	0,43
Densidade de árvores (ind.ha ⁻¹)	13 \pm 7,3	18,8 \pm 6,7	< 0,05
Abertura de dossel (%)	21,4 \pm 8,0	7,9 \pm 1,7	< 0,001
Luminosidade (lux)	2,422 \pm 2,151	583,6 \pm 324,8	< 0,01
Umidade do ar (%)	78 \pm 7,7	84,9 \pm 5,8	< 0,05
Temperatura do ar (°C)	13,8 \pm 0,3	13,3 \pm 0,2	< 0,001

Com relação aos padrões de regeneração, a densidade de colmos variou entre 7400 \pm 4112 colmos.ha⁻¹ nas áreas de clareiras e 7374 \pm 5196 em áreas de dossel contínuo (p = 0,51). Não foram observadas diferenças significativas entre o número médio de colmos ou altura média de colmos (tabela 2). A abundância de plântulas de espécies arbóreas variou entre 5284 \pm 1883 plântulas.ha⁻¹ em clareiras e 6333 \pm 1908 plântulas.ha⁻¹ em áreas de dossel contínuo, sem diferenças significativas (t = 1,38, p = 0,18).

Tabela 2. Padrões de regeneração de *M. multiramea* em áreas de dossel contínuo e clareiras formadas pela morte e queda da bambúseas em floresta estacional semidecídua subtropical. Valores são médias \pm DP obtidas nas UAs (100 m²)

	Clareiras	Dossel contínuo	p
Densidade de colmos (ind.ha ⁻¹)	74 \pm 51,9	73,7 \pm 41,1	0,51
Ramificações (colmos por touceira)	4,2 \pm 1,1	3,7 \pm 0,5	0,34
Altura média dos colmos (cm)	83,15 \pm 42	73,04 \pm 44	0,56
Colmos mortos (colmos.ha ⁻¹)	13,8 \pm 18,4	2,3 \pm 3,2	0,04

A partir desses números, pode-se dizer que, quatro anos após a floração sincrônica e morte de *Merostachys multiramea*, observou-se mudanças nítidas em diversas variáveis ambientais, comparando-se sítios com geração de clareiras e áreas de dossel contínuo. Essas mudanças incluíram a estruturação de dossel (abertura das próprias clareiras), luminosidade, temperatura e umidade do ar. Além disso, a densidade de árvores adultas e área basal foram maiores nos sítios sem a presença prévia de bambúseas, demonstrando que a estrutura dessas áreas é distinta desde o período prévio à morte e queda dessa espécie.

Considerando que as áreas eram previamente distintas, uma questão que pode ser ressaltada é se os processos iniciais da dinâmica florestal de cada sítio, associados à chuva de sementes, poderiam também ser distintos. Ao ana-

lisar uma área de floresta Atlântica no sudeste do Brasil, Rother et al. (2009) demonstraram que esse aspecto não diferiu em área com e sem a presença de bambúneas. Tais resultados também evidenciaram que espécies frugívoras visitaram com elevada frequência os sítios com bambus e, embora sendo áreas menos adensadas com indivíduos arbóreos, essas árvores eram de extrema importância, atuando como poleiros para a atividade dos dispersores. Em nosso estudo, indivíduos adultos apresentaram uma densidade de 1200 ind. ha⁻¹, o que habilita essas áreas de clareiras a receberem grandes quantidades de sementes a partir da fauna dispersora.

ESTRUTURA, REGENERAÇÃO E VARIÁVEIS AMBIENTAIS - Os dois primeiros eixos do escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) (figura 1) sintetizaram um gradiente que se inicia do lado esquerdo, com um conjunto de UAs de clareiras e ao lado direito, com UAs de áreas de dossel contínuo, apresentando alguma sobreposição de UAs nas áreas intermediárias. A abundância de colmos mortos e abertura do dossel estiveram correlacionadas, assim como o rebrote de touceiras. É interessante observar que não houve distinção na abundância de colmos entre áreas de clareiras e de dossel contínuo.

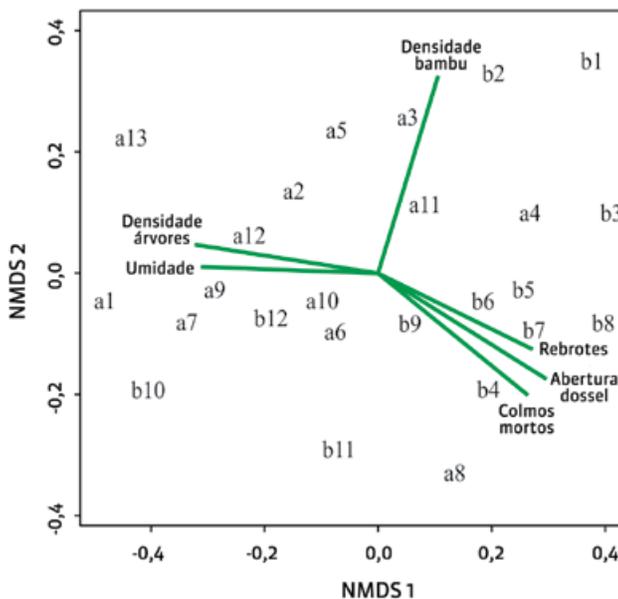


Figura 1. Ordenação NMDS de unidades amostrais – UAs, variáveis ambientais e de sítio e da população de *M. multiramea* (a = dossel contínuo; b = clareiras) em floresta estacional semidecídua subtropical

A umidade relativa do ar apresentou forte correlação com a abundância de indivíduos arbóreos e as duas variáveis foram negativamente correlacionadas com abertura de dossel e rebrote de colmos (tabela 3). A abundância de colmos apresentou correlação inversa com a abundância de indivíduos arbóreos.

Tabela 3. Correlações entre variáveis ambientais e os dois primeiros eixos de ordenação (NMDS) para áreas de clareiras e dossel contínuo em uma floresta estacional semidecídua subtropical

	Eixo 1	Eixo 2	Umidade	Densidade árvores	Densidade colmos	Rebrote bambusea	Colmos mortos
Umidade do ar (%)	-0,99	0,03					
Densidade árvores (ind.ha ⁻¹)	-0,98	0,14	0,43**				
Densidade colmos (ind.ha ⁻¹)	0,31	0,95	-0,35 ns	-0,43*			
Rebrotos (colmos por touceira)	0,9	-0,42	-0,5***	-0,69***	-0,06 ns		
Colmos mortos (colmos.ha ⁻¹)	0,79	-0,6	-0,51***	-0,62***	< 0,01 ns	0,76**	
Abertura dossel (%)	0,86	-0,5	-0,55	-0,67***	0,07 ns	0,58**	0,76**

*p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001; ns = não significativo

As diferenças marcantes na estruturação florestal e nas variáveis ambientais, por outro lado, não geraram distinção no vigor da regeneração das bambúseas. Ao contrário da nossa hipótese inicial, não observamos distinção na abundância média de colmos nos rebrotos e na altura média dos colmos demonstrada pela ordenação NMDS, embora os valores médios tenham sido um pouco maiores nas áreas de clareiras.

Conforme discutido por González et al. (2002), em florestas de *Nothofagus* com elevada abundância de *Chusquea quila*, o recrutamento de novas plântulas de espécies arbóreas ocorre principalmente nos dois primeiros anos após a morte e queda de bambúseas, sendo a regeneração dessa espécie até 200 vezes maior que o recrutamento de espécies arbóreas. No presente estudo, observamos que, mesmo havendo um intervalo ainda maior de tempo (4 anos), não houve massiva expansão da espécie correlata *Merostachys multiramea*. A baixa densidade média da espécie comparada à *Chusquea quila* poderia ser associada às condições de sítio, como distintas condições ambientais que não foram oportunas para o amplo desenvolvimento de *M. multiramea* ou a falta de tempo suficiente para a ampla expansão da espécie.

Embora comparativamente pequena, a maior abundância de colmos e rebrotos em áreas de clareiras demonstra que o desenvolvimento inicial da bambúsea ainda não terminou quatro anos após a floração e frutificação. A

massiva regeneração da bambúsea em ambos os sítios (clareiras e dossel contínuo), no entanto, parece ser uma estratégia comum a essas espécies, como observado por Bellairs et al. (2008) e indica que *M. multiramea* não apresenta sementes com dormência. Os dados apontam ainda que sua germinação ocorre numa pequena janela de tempo e não forma um banco de sementes, mas um nítido banco de plântulas (Judziwics et al., 1999; Marchesini et al., 2009). Dessa forma, a sucessão florestal estaria condicionada ao curto espaço de tempo entre morte e reestabelecimento da população de bambus, já apontado por Marchesini et al. (2009). Entretanto, a regeneração nos diferentes sítios foi distinta (NPMANOVA, $F = 3,29$; $p < 0,01$), indicando a abundância de espécies e de composições. Os perfis de diversidade (figura 2) revelaram maior riqueza e diversidade em áreas de clareiras formadas pela morte e queda de *M. multiramea*.

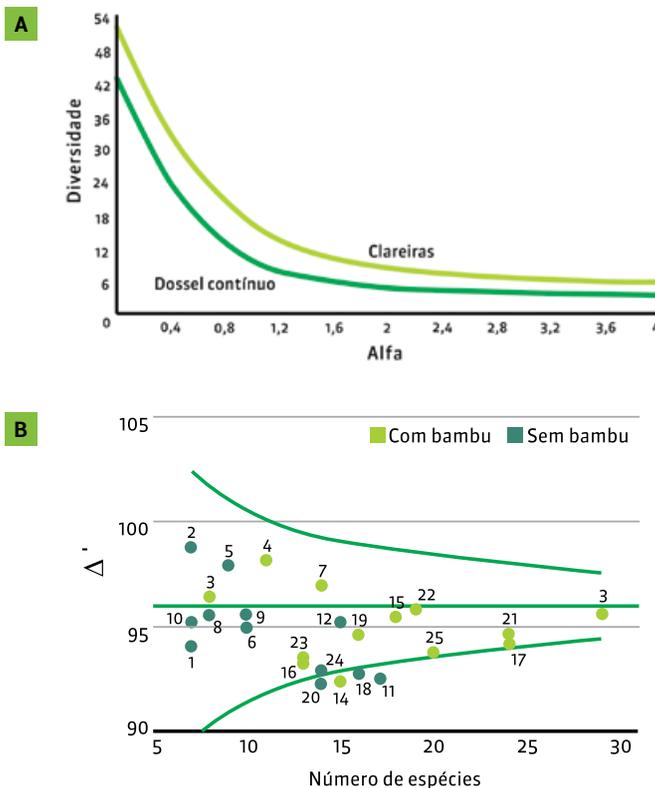


Figura 2. Perfis de diversidade (A) e distinção taxonômica (B) em áreas de dossel contínuo e clareiras formadas pela morte e queda da bambúsea em floresta estacional semidecídua subtropical

Tais resultados se evidenciam em padrões nítidos de composição de espécies, riqueza e diversidade, com a possibilidade de estruturação distinta de cada setor ao longo do tempo. As maiores riquezas e diversidades foram observadas em áreas de clareiras, o que contraria nossa hipótese inicial de maior diversidade em áreas de dossel contínuo, porém concorda com trabalhos anteriores (Veblen, 1982; Holz & Veblen, 2006). Cabe ressaltar que a construção dos perfis de diversidade aplica às séries de Rényi, fornecendo resultados relevantes para a comparação de medidas de diversidade com distintos pesos para a abundância das espécies (valores de α). Dessa forma, seja ponderando maior peso para as espécies raras ou abundantes (distintos valores de α), as áreas de clareiras sempre apresentaram maior diversidade.

Nesse sentido, o papel dos distúrbios ecológicos na manutenção de altos níveis de riqueza e diversidade em florestas tropicais e subtropicais tem sido amplamente discutido – e a relevância da dinâmica de clareiras, sobretudo geradas por morte de bambúseas, possui ampla documentação (Martins et al., 2004; Holz & Veblen, 2006; Marchesini et al., 2009). González et al. (2002) relataram que, após a morte de bambus, diversas espécies com distintos ciclos de vida (em especial aquelas menos tolerantes à sombra) foram recrutadas em áreas de clareiras e se estabeleceram juntamente com a germinação de *Chusquea quila*. Os autores concluem que o recrutamento em áreas de clareiras foi determinado por um conjunto de fatores que incluem a densidade de bambúseas antes da floração, o crescimento de colmos e a época de produção de sementes, assim como a habilidade das espécies arbóreas em se desenvolver nesses ambientes. Martins et al. (2004) também demonstraram que a diversidade de espécies estabelecida em clareiras produzidas pela morte de *Merostachys riedeliana* foi similar em sítios com e sem a presença prévia da espécie e que tais clareiras foram críticas para a regeneração de espécies arbustivas e arbóreas nos períodos entre florações, ou seja, num intervalo de aproximadamente 30 anos.

A pesquisa mostra, ainda, resultados muito similares nos índices de distinção taxonômica das áreas estudadas – o valor de Δ^* foi de $95,11 \pm 4,43$ para áreas de dossel contínuo e $93,76 \pm 3,77$ para clareiras ($p > 0,05$) e o de Δ^+ igual a $94,98 \pm 1,8$ e $94,77 \pm 1,93$, respectivamente ($p > 0,05$). Os valores muito próximos entre os dois sítios de amostragem (figura 2) indicam que, embora a composição de espécie possa ser distinta, o arranjo interno de cada área apresenta uma similaridade filogenética (gêneros, famílias e ordens) pouco diferenciada (distâncias filogenéticas semelhantes). Tal constatação tem implicações interessantes: evidencia, por exemplo, que não existem grupos taxonômicos específicos a colonizar apenas as clareiras formadas pela morte e queda de

M. multiramea. Ou seja, o potencial de colonização é parecido entre as áreas. Essa condição corrobora os resultados prévios, nos quais os perfis de diversidade indicaram maior riqueza de espécies nas áreas de clareiras.

Por fim, de acordo com o modelo de Griscom e Ashton (2003), após eventos reprodutivos as bambúseas podem contrair-se, acarretando uma oportunidade para a regeneração de espécies arbóreas – ou a própria regeneração dos bambus pode gerar uma reinvasão pela exclusão competitiva com plântulas de espécies arbóreas. O presente trabalho, desenvolvido em uma floresta subtropical após quatro anos de um evento reprodutivo sincrônico de *Merostachys multiramea*, observou que o estabelecimento inicial de espécies arbóreas e de bambúseas foi maior em áreas de clareiras. Dessa forma, corrobora resultados de Marchesini et al. (2009), os quais mostram que a regeneração é um processo gradual, não vinculado necessariamente à densidade prévia de plântulas ou à limitação de recursos, e que a regeneração florestal poderia ser ampliada nos primeiros anos após esses eventos drásticos de floração, morte e queda de bambúseas florestais.

Conclusões

1. Condições ambientais associadas à temperatura e umidade do ar, bem como as estruturas florestais, variam consideravelmente entre áreas de dossel contínuo e estantes com clareiras formadas pela morte e queda de *Merostachys multiramea*;
2. O vigor de crescimento de *Merostachys multiramea* faz com que as plântulas dessa espécie cresçam rapidamente e recolonizem as áreas previamente dominadas pela bambúsea;
3. Embora condicionada a ambientes distintos, a regeneração de espécies arbóreas é maior em áreas de clareiras quatro anos após a morte e queda de *Merostachys multiramea*, acarretando maior densidade de espécies, maior diversidade taxonômica e equabilidade entre as abundâncias das espécies;
4. Não ocorrem diferenças significativas entre a distinção taxonômica (índices Δ^* e Δ^+) de estandes com dossel contínuo e áreas de clareiras, indicando semelhante distinção filogenética aos dois ambientes avaliados;

5. *Merostachys multiramea* apresenta rápido crescimento e ausência de banco de sementes, ocasionando uma pequena janela de tempo para o estabelecimento de espécies arbóreas antes da reinvasão de áreas de clareiras já previamente ocupadas pela bambúsea.

Agradecimentos

À URI Erechim, pelo apoio logístico e financeiro;

À FAPERGS, pela concessão de bolsa de mestrado a G. Dariva e auxílio financeiro (Edital PqG 2012 – Processo SPI 2501 12-6);

À Capes, pela concessão de bolsa de estudo à R. Weirich via recursos PROSUP;

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro (Edital Universal 2012 – Processo 47063/2012-0).

Referências

- ABE, M.; MIGUCHI, H.; NAKASHIZUKA, T. An interactive effect of simultaneous death of dwarf bamboo, canopy gap, and predatory rodents on beech regeneration. **Oecologia**, v.127, p.281-86, 2001.
- ANDERSON, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v.26, p.32-46, 2001.
- BELLAIRS, S.M.; FRANKLIN, D.C.; HOGARTH, N.J. A tropical, gregariously semelparous bamboo shows no seed dormancy. **Biotropica**, v.40, p.28-31, 2008.
- CAMPANELLO, P.I.; GATTI, M.G.; ARES, A.; MONTTI, L.; GOLDSTEIN, G. Tree regeneration and microclimate in a liana and bamboo-dominated semideciduous Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v.252, p.108-117, 2007.
- CHRISTANTY, L.; MAILLY, D.; KIMMINS, J.P. Without bamboo, the land dies: biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system. **Forest Ecology and Management**, v.87, p.75-88, 1996.
- CLARKE, K.R.; WARWICK, R.M. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. Plymouth: Natural Environment Research Council, 2001. 172p.
- FRAZER G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN K.P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0**. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia and Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, 1999. 36p.
- GONZÁLEZ M.E.; DONOSO, C. Producción de semillas y hojarasca en *Chusquea quila* (Poaceae: Bambusoideae), posterior a su floración sincrónica en la zona centro-sur de Chile. **Revista Chilena de Historia Natural**, v.72, p.169-180, 1999.



- GONZÁLEZ, M.E.; VEBLEN, T.T.; DONOSO, C.; VALERIA, L. Tree regeneration responses in a lowland *Nothofagus* dominated forest after bamboo dieback in South Central Chile. **Plant Ecology**, v.161, p.59-73, 2002.
- GRISCOM, B.W.; ASHTON, M.S. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. **Forest Ecology and Management**, v.175, p.445-454, 2003.
- HOLZ, C.A.; VEBLEN, T. Tree regeneration responses to *Chusquea montana* bamboo die-off in a subalpine *Nothofagus* forest in the southern Andes. **Journal of Vegetation Science**, v.17, p.19-28, 2006.
- JAKSIC, F.M.; LIMA, M. Myths and facts on ratadas: bamboo blooms, rainfall peaks and rodent outbreaks in South America. **Austral Ecology**, v.28, p.237-251, 2003.
- JUDZIEWICZ, E.J.; CLARK, L.G.; LONDONO, X.; STERN, M.J. **American bamboos**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1999. 398p.
- LYTLE, D.A.; POFF, N.L. Adaptation to natural flow regimes. **Trends in Ecology and Evolution**, v.19, p.94-100, 2004.
- MCCLURE, F.A. **The bamboos**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1993. 345p.
- MARCHESINI, V.A.; SALA, O.E.; AUSTIN, A.T. Ecological consequences of a massive flowering event of bamboo (*Chusquea culeou*) in a temperate forest of Patagonia, Argentina. **Journal of Vegetation Science**, v.20, p.424-432, 2009.
- MARTINS, S.V.; JÚNIOR, R.C.; RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Colonization of gaps produced by death of bamboo clumps in a semideciduous mesophytic Forest in south-eastern Brazil. **Plant Ecology**, v.172, p.121-131, 2004.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T.; BUDKE, J.C.; JARENKOW, J.A.; EISENLOHR, P.V.; NEVES, D.R.M. Delving into the variations in tree species composition and richness across south american subtropical atlantic and pampean forests. **Journal of Plant Ecology**, v.8, p.242-260, 2015.
- ROTHER, D.C.; RODRIGUES, R.R.; PIZO, M.A. Effects of bamboo stands on seed rain and seed limitation in a rainforest. **Forest Ecology and Management**, v.257, p.885-892, 2009.
- SCHMITT, R.; LONGHI-WAGNER, H.M. A tribo Bambuseae (Poaceae, Bmabusoideae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v.7, p.71-128, 2009.
- SOUZA, A.F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S.J.; BRENA, D.A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v.34, p.221-232, 2008.
- TAYLOR, A.H.; JINYAN, H.; ZHOU, S. Canopy tree development and undergrowth bamboo dynamics in old-growth *Abies-Betula* forest in southwestern China: a 12-year study. **Forest Ecology and Management**, v.200, p.347-360, 2004.
- TAYLOR A.H.; ZISHENG, Q. Regeneration patterns in old growth *Abies-Betula* forests in the Wolong Natural Reserve, Sichuan, China. **Journal of Ecology**, v.76, p.1204-1218, 1988.
- TÓTHMÉRÉSZ, B. Comparison of different methods for diversity ordering. **Journal of Vegetation Science**, v.6, p.283-290, 1995.
- VEBLEN, T.T. Tree regeneration responses to gaps along a transandean gradient. **Ecology**, v.70, p.541-543, 1989.



Distribuição de espécies lenhosas sob influência de *Actinocladum verticillatum* na transição Cerrado-Amazônia

Fernando Elias⁽¹⁾, *Eder Carvalho das Neves*⁽¹⁾,
Simone Matias Reis⁽²⁾, *Edmar Almeida de Oliveira*⁽²⁾,
Paulo Sérgio Morandi⁽²⁾, *Jean Carlos Budke*⁽³⁾,
Ben Hur Marimon Junior⁽⁴⁾ e *Beatriz Schwantes Marimon*⁽⁴⁾

⁽¹⁾Laboratório de Ecologia Vegetal, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação (PPGEC), Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat), Av. Dr. Renato F. Varella, s/n, CEP. 78.690-000, CP 08, Nova Xavantina-MT, Brasil. E-mails: fernandoeliasbio@gmail.com, ecarvalho625@gmail.com

⁽²⁾Laboratório de Ecologia Vegetal, Programa Interinstitucional de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia na Amazônia Legal, Universidade Federal do Amazonas/ Unemat. Nova Xavantina-MT, Brasil. E-mails: simonematiasreis@gmail.com, edmardinei@gmail.com, morandibio@gmail.com

⁽³⁾Laboratório de Sistemática e Ecologia Vegetal, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Av. Sete de Setembro, 1621, CEP. 99709-910, Erechim-RS, Brasil. E-mail: jean@uricer.edu.br

⁽⁴⁾Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas e Sociais Aplicadas, Universidade do Estado de Mato Grosso, Av. Dr. Renato F. Varella, s/n, CEP. 78.690-000, CP 08, Nova Xavantina-MT, Brasil. E-mail: bhmjunior@gmail.com, biamarimon@unemat.br

Resumo – Os bambus estão relacionados a diversos processos que estruturam comunidades vegetais, tanto em áreas savânicas quanto florestais. Neste estudo, foi avaliada a influência de touceiras de *Actinocladum verticillatum*, espécie popularmente conhecida como taquari, na distribuição espacial, diversidade e distinção taxonômica de um cerrado típico e de um cerradão. O estudo foi conduzido no Parque Municipal do Bacaba, leste do estado de Mato Grosso, onde foram demarcadas 30 parcelas em cerradão – 15 em área sem bambu e 15 em área com bambu – e 30 parcelas em cerrado típico – sendo também 15 em área com bambu e 15 em área sem bambu. Todos os indivíduos lenhosos com diâmetro a 30 cm do solo maior ou igual a 3 centímetros ($DAS_{30cm} \geq 3$ cm) foram medidos e identificados. Medidas de riqueza e distribuição espacial revelaram a influência negativa do bambu tanto na fitofisionomia do cerradão quanto na do cerrado típico. A interferência negativa foi qualitativa no cerradão, influenciando a diversidade taxonômica, e quantitativa no cerrado típico, influenciando a riqueza de espécies, o que pode conduzir à homogeneização taxonômica dessas fitofisionomias.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: DISTINÇÃO TAXONÔMICA, DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL, SIMILARIDADE FLORÍSTICA.



Distribution of woody species under the influence of *Actinocladum verticillatum* in transition Cerrado-Amazon

Abstract – Bamboos are related to various processes that structure plant communities, both in savanna and in forests. This study evaluated the influence of *Actinocladum verticillatum* bamboo clumps on spatial distribution, diversity and taxonomic distinctness in a *cerradão* (savanna forest) and a typical cerrado. The study was conducted in 30 plots in a *cerradão*, 15 without bamboo and 15 with bamboo and 30 in typical cerrado, also 15 without bamboo and 15 with bamboo, in the Bacaba Municipal Park, eastern Mato Grosso state. All woody individuals with diameter equal or higher than 3 cm (30 cm aboveground) were measured and identified. Richness and spatial structure metrics showed that bamboos influenced negatively both phytophysiognomies. The negative interference of the bamboo clumps was qualitative, impacting taxonomic diversity, in the *cerradão* and quantitative, impacting species richness, in the typical cerrado, leading these phytophysiognomies to a taxonomic homogenization.

INDEX TERMS: TAXONOMIC DISTINCTNESS, SPATIAL DISTRIBUTION, FLORISTIC SIMILARITY

Introdução

Diversos trabalhos têm discutido os efeitos da presença de bambus sobre a estrutura e a dinâmica de comunidades vegetais (Budke et al., 2010; Mews et al., 2013; Montti et al., 2013; Elias et al., 2015). O modelo conceitual de Griscom e Ashton (2003) destaca que os bambus podem invadir florestas em estágio avançado de sucessão com estruturação parcialmente aberta devido à queda de árvores. Por outro lado, a escassez de estudos sobre a estruturação de fitofisionomias¹ florestais com menor porte, incluindo o *cerradão*, ou fitofisionomias savânicas, como o cerrado típico, dificulta o entendimento do papel dos bambus na estruturação dessas comunidades.

O bambu *Actinocladum verticillatum*, popularmente conhecido como taquari, é frequentemente encontrado em áreas do cerrado, sendo comum nos estados de Goiás e Mato Grosso (Teixeira et al., 2007). Em Nova Xavantina, no Parque Municipal do Bacaba, a espécie ocorre em manchas de tamanhos variados, com média de 1 hectare, intercaladas por diferentes fitofisionomias



do cerrado. Silvério et al. (2010), Mews et al. (2013) e Elias et al. (2015) avaliaram a influência dos adensamentos de bambus sobre a vegetação adulta e sobre a regeneração natural de áreas de cerradão e cerrado típico no parque. Os resultados apontam que a presença de *A. verticillatum* afetou negativamente o número de indivíduos, espécies, gêneros e famílias, além da área basal e de parâmetros de diversidade das áreas. Ao destacarem as feições estruturais distintas entre o cerradão e o cerrado típico, os autores reiteraram que este último é mais sensível à ocupação do bambu, pois o menor porte da vegetação e a maior incidência luminosa podem permitir maior crescimento das touceiras.

Em fisionomias florestais, Marchesini et al. (2009) e Budke et al. (2010) avaliaram os efeitos que a morte de bambus acarreta às espécies arbóreas, uma vez que cria oportunidades para a regeneração florestal em clareiras naturais. De fato, o fascinante ciclo de vida dos bambus, que culmina em um evento massivo de produção de sementes e posterior morte dos colmos, gera um distúrbio relevante na estrutura das florestas. Em relação a fisionomias não florestais, alguns autores sugerem que o impacto de espécies de bambu é menor, sobretudo devido à descontinuidade do dossel, que permite maior tolerância das espécies lenhosas² à insolação e ao estresse hídrico (Guilherme et al., 2004; Palhares et al., 2010).

No presente estudo, buscou-se avaliar a influência de agrupamentos do bambu *A. verticillatum* sobre comunidades de cerradão e cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba de modo a responder as seguintes questões: 1) Qual a influência das touceiras de *A. verticillatum* na abundância de indivíduos e riqueza de espécies nessas comunidades? 2) A presença de *A. verticillatum* ocasiona padrões de distribuição espacial distintos para indivíduos lenhosos em diferentes classes de tamanho nesses ambientes e pode gerar uma estruturação lenhosa distinta entre as áreas? 3) Considerando a distinção taxonômica e possível diferenciação filogenética, as áreas com ou sem a presença de *A. verticillatum* são distintas entre si?

¹ Termo botânico utilizado para descrever a característica morfológica geral de uma comunidade vegetal (Coutinho, 2006).

² Refere-se a plantas vasculares de caules perenes caracterizadas pela formação do lenho - madeira.

Material e métodos

O estudo foi realizado em uma área de cerradão (14°42'07,65"S e 52°21'01,72"W) e cerrado típico (14°42'28,93"S e 52°20'54,57"W) do Parque Municipal do Bacaba, na região leste de Mato Grosso. Localizado no município de Nova Xavantina, o parque possui cerca de 500 hectares e apresenta diversas fitofisionomias, incluindo mata de galeria, cerradão e cerrado típico (Marimon-Junior & Haridasan, 2005).

O clima da região é do tipo tropical com inverno seco (*Aw* de Köppen), com dois períodos bem definidos, um chuvoso, de outubro a março, e outro seco, de abril a setembro (Alvares et al., 2013). A precipitação anual oscila entre 1.300 e 1.500 mm, e a temperatura média é 25 °C (Marimon et al., 2010). O relevo abrange feições plano-onduladas, com altitude média de 300 m e latossolos (Marimon-Junior & Haridasan, 2005).

Para cada fitofisionomia estudada – cerradão e cerrado típico – foram delimitadas 15 parcelas contíguas em um sítio controle, com ausência completa de touceiras de bambu (SB) e 15 parcelas contíguas em um sítio adjacente, com adensamentos naturais de *A. verticillatum* (CB), totalizando 60 parcelas. A distância entre as fitofisionomias é de aproximadamente 600m e, entre os sítios SB e CB na mesma fitofisionomia, de 20m. As parcelas mediam 10 x 10 m.

Dentro dos limites dos sítios, todos os indivíduos lenhosos que apresentaram diâmetro a 30cm do solo maior ou igual a 3 cm ($DAS_{30cm} \geq 3$ cm) foram medidos e identificados, inclusive lianas e representantes da família *Areaceae*, daqui em diante chamados de vegetação lenhosa. A identificação foi realizada *in loco* e por meio de comparações com o acervo do Herbário NX, além de terem sido realizadas consultas a bibliografias e especialistas. A nomenclatura dos táxons foi revisada e atualizada de acordo com a Lista de Espécies da Flora do Brasil (2015) e a classificação das famílias botânicas seguiu a atualização da filogenia das angiospermas APG III (2009).

A cobertura espacial de *A. verticillatum* nas unidades amostrais foi caracterizada por meio do método proposto por Fournier (1974), permitindo uma estimativa percentual do espaço ocupado pelo bambu em cinco categorias com intervalos regulares de 25% entre si, sendo: 0: nenhuma cobertura de bambu; 1: cobertura de 0,1 a 25%; 2: cobertura de 25,1 a 50%; 3: cobertura de 50,1 a 75%; e 4: cobertura de 75,1 a 100%.

ANÁLISE DE DADOS - O padrão de distribuição espacial dos indivíduos lenhosos em cada sítio e em diferentes classes de tamanho foi determinado pela estatística SADIE (*Spatial Analysis by Distance Indices*), por meio do índice de

agregação (Ia) (Perry et al., 2006). Na classe 1, foram agrupados indivíduos com 3 a 10 cm de DAS_{30cm} e, na classe 2, indivíduos com mais de 10 cm de DAS_{30cm} . O cálculo do Ia é baseado na identificação de cada unidade amostral por coordenadas bidimensionais, permutando-se os valores de abundância entre elas e testando-se a hipótese de máxima agregação e dispersão dos indivíduos. Valores de Ia acima de 1 indicam distribuição agregada, valores menores que 1 remetem à distribuição regular, e iguais a 1 caracterizam distribuição aleatória (Perry, 1995; Perry et al., 2006). Para complementar os resultados, os valores absolutos da abundância por parcela, em cada sítio, foram interpolados pela análise de krigagem, utilizando o programa SURFER 8.0 da Golden Software.

Para identificar associações espaciais negativas e positivas entre as classes de tamanho e os adensamentos de *A. verticillatum* nos sítios sem bambu (SB) e com bambu (CB), foi utilizado o índice de associação (χ) (detalhes em Perry e Dixon, 2002). A hipótese nula de χ é a inexistência de associações, ou seja, as lacunas e os agrupamentos dos conjuntos de dados não coincidem espacialmente. Os valores de χ variam entre +1 (associação positiva, $p < 0,025$) e -1 (associação negativa, $p > 0,975$), enquanto zero indica independência espacial total. Associações positivas ocorrem quando há sobreposição dos agrupamentos ou das lacunas entre dois conjuntos de dados. Associações negativas são indicadas pela coincidência dos agrupamentos de um conjunto de dados com as lacunas de outro, ou seja, ocorre repulsão espacial (Perry & Dixon, 2002). Os valores significativos de Ia e χ foram gerados a partir de 999 permutações no programa SADIEShell 1.2 (Perry et al., 1996).

Os efeitos dos adensamentos de *A. verticillatum* sobre a similaridade florística foram avaliados pelo método de ordenação, por escalonamento multidimensional não métrico (NMDS). Para verificar se os componentes lenhosos do cerradão, cujo dossel é contínuo, e do cerrado típico, com dossel aberto, apresentaram maior ou menor distinção taxonômica, foram aplicados os índices Δ^* e $\Delta+$ com dados de abundância (Clarke & Warwick, 2001). Essa análise avalia a distância gerada em um dendrograma construído a partir de níveis taxonômicos (neste caso, gênero, família e ordem), partindo da premissa de que quanto maior for a distância entre os grupos do dendrograma de cada unidade amostral maior será a distinção taxonômica “ Δ ”, em comparação a determinado número de espécies (Clarke & Warwick, 2001). De acordo com os autores, a distinção taxonômica é, na sua forma mais simples, uma maneira de capturar a distância filogenética/taxonômica entre um conjunto de dados, em vez de apenas analisar a riqueza de espécies. As análises foram realizadas no programa R 3.2.1 (R Development Core Team 2015), por meio do pacote *vegan* 2.2.1 (Oksanen et al., 2015).

Resultados e discussão

Foram amostrados 627 indivíduos no cerradão, 343 no sítio SB e 284 no CB, pertencentes a 65 e 55 espécies, respectivamente. No cerrado típico, foram amostrados 704 indivíduos, 504 no sítio SB e 200 no sítio CB, pertencentes a 76 e 48 espécies, respectivamente (tabela 1). Esses resultados indicam interferência negativa de *A. verticillatum* sobre a densidade de indivíduos e riqueza de espécies e corroboram os resultados de Elias et al. (2015) para o estrato regenerante.

Tabela 1. Lista de espécies e suas respectivas abundâncias nos sítios com (CB) e sem (SB) a presença do bambu *Actinocladum verticillatum* em parcelas de cerradão e cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT

Famílias/Espécies	Cerradão		Cerrado	
	CB	SB	CB	SB
Anacardiaceae	-	-	-	-
<i>Anacardium occidentale</i> L.	0	0	3	9
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	1	4	1	6
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	0	9	0	0
Annonaceae	-	-	-	-
<i>Annona coriacea</i> Mart.	2	1	4	4
<i>Xylopia aromatica</i> Mart.	8	4	0	0
Apocynaceae	-	-	-	-
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	0	3	0	2
<i>Aspidosperma multiflorum</i> A. DC.	3	10	0	7
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	0	2	0	1
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	0	0	1	2
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	0	0	0	1
<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll.Arg.) Woodson	0	0	0	3
<i>Secondatia densiflora</i> A.DC.	0	1	0	0
Arecaceae	-	-	-	-
<i>Syagrus comosa</i> (Mart.) Mart.	0	0	1	13
<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	3	10	7	27
Asteraceae	-	-	-	-
<i>Eremanthus mattogrossensis</i> Kuntze	0	0	0	4
Bignoniaceae	-	-	-	-
<i>Amphilophium crucigerum</i> (L.) L.G.Lohmann	0	1	0	0
<i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	0	1	0	0
<i>Fridericia cinnamomea</i> (DC.) L.G.Lohmann	0	0	3	0
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	0	0	0	8
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	1	2	1	2
Burseraceae	-	-	-	-
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	4	2	0	6



Famílias/Espécies	Cerradão		Cerrado	
	CB	SB	CB	SB
Calophyllaceae	-	-	-	-
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	0	0	1	1
<i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess.	0	0	1	12
Caryocaraceae	-	-	-	-
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	0	0	7	7
Chrysobalanaceae	-	-	-	-
<i>Alchornea discolor</i> Poepp.	7	3	0	0
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	2	2	1	0
<i>Hirtella glandulosa</i> Spreng.	14	29	0	3
<i>Licania humilis</i> Cham. & Schtdl.	1	1	0	0
Combretaceae	-	-	-	-
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	7	1	10	8
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	8	4	17	8
Connaraceae	-	-	-	-
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	1	0	0	2
Dilleniaceae	-	-	-	-
<i>Curatella americana</i> L.	5	0	8	6
<i>Davilla elliptica</i> A.St.-Hil.	0	0	0	17
<i>Doliodarpus dentatus</i> (Aubl.) Standl.	0	2	0	0
Ebenaceae	-	-	-	-
<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	1	0	0	1
Erythroxylaceae	-	-	-	-
<i>Erythroxylum</i> sp.	0	0	0	1
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	2	7	0	6
<i>Erythroxylum engleri</i> O.E.Schulz	0	0	0	1
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	0	1	0	7
Euphorbiaceae	-	-	-	-
<i>Cnidocolus urens</i> (L.) Arthur	1	0	0	0
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	0	1	0	0
Fabaceae	-	-	-	-
<i>Andira cujabensis</i> Benth.	1	0	0	2
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	1	0	2	4
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	1	1	3	2
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	4	1	14	6
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	0	1	0	5
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	2	0	2	3
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	0	0	0	3
<i>Luetzelburgia praecox</i> (Harms) Harms	2	1	1	3
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	1	2	1	4
<i>Mimosa laticifera</i> Rizzini & A.Mattos	9	0	18	49
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.	1	0	0	0
<i>Peltogyne confertiflora</i> (Mart. ex Hayne) Benth.	0	0	0	1
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	2	0	4	8
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	0	6	0	0
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	0	2	1	0
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.)	0	0	0	1



Famílias/Espécies	Cerradão		Cerrado	
	CB	SB	CB	SB
<i>Tachigali aurea</i> Tul.	0	1	0	0
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	45	73	0	0
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	9	10	9	9
Icacinaceae	-	-	-	-
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	8	1	18	8
Lacistemataceae	-	-	-	-
<i>Lacistema aggregatum</i> (P.J.Bergius) Rusby	0	5	0	0
Lauraceae	-	-	-	-
<i>Mezilaurus crassiramea</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	1	0	3	4
Loganiaceae	-	-	-	-
<i>Antonia ovata</i> Pohl	1	2	1	1
Lythraceae	-	-	-	-
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	0	1	3	0
Malpighiaceae	-	-	-	-
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	1	1	2	10
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	0	0	2	16
<i>Diplopterys pubipetala</i> (A.Juss.) W.R.Anderson & C.C.Davis	24	13	2	17
<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A.Juss.	0	0	2	0
Malvaceae	-	-	-	-
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	0	1	0	0
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	5	5	7	14
<i>Luehea candicans</i> Mart. & Zucc.	0	0	2	0
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	0	0	0	2
<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A.Robyns	2	3	1	4
Melastomataceae	-	-	-	-
<i>Mouriri elliptica</i> Mart.	0	0	0	3
Moraceae	-	-	-	-
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	1	0	0	0
Myrtaceae	-	-	-	-
<i>Myrcia lanuginosa</i> O.Berg	0	0	1	14
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	1	31	3	38
<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	0	0	0	1
<i>Psidium</i> sp.	0	1	0	1
Nyctaginaceae	-	-	-	-
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lund	1	1	4	3
<i>Guapira graciliflora</i> (Mart. ex Schmidt) Lundell	2	14	1	21
<i>Neea theifera</i> Oerst.	0	0	1	0
Ochnaceae	-	-	-	-
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	2	0	1	4
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.	1	0	2	4
Olivaceae	-	-	-	-
<i>Chaunochiton kappleri</i> (Sagot ex Engl.) Ducke	0	1	0	0
<i>Heisteria ovata</i> Benth.	0	12	0	4
Opiliaceae	-	-	-	-
<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.f.	0	1	0	0

Famílias/Espécies	Cerradão		Cerrado	
	CB	SB	CB	SB
Peraceae	-	-	-	-
<i>Chaetocarpus echinocarpus</i> (Baill.) Ducke	0	4	0	0
Polygonaceae	-	-	-	-
<i>Coccoloba mollis</i> Casar	0	3	0	0
Proteaceae	-	-	-	-
<i>Euplassa inaequalis</i> (Pohl) Engl.	4	2	0	2
<i>Roupala montana</i> Aubl.	51	4	4	17
Rubiaceae	-	-	-	-
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	0	1	0	0
<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze	0	7	0	1
<i>Coussarea hydrangeifolia</i> (Benth.) Müll.Arg.	0	1	0	0
<i>Psychotria</i> sp.	0	1	0	0
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltld.) K.Schum.	0	0	0	1
Sapindaceae	-	-	-	-
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	0	4	6	4
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	4	5	0	1
<i>Serjania caracasana</i> (Jacq.) Willd.	1	3	0	0
Sapotaceae	-	-	-	-
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	1	0	0	3
Simaroubaceae	-	-	-	-
<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	1	0	0	2
Siparunaceae	-	-	-	-
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	0	1	0	0
Styracaceae	-	-	-	-
<i>Styrax camporum</i> Pohl	0	0	0	1
Vochysiaceae	-	-	-	-
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	1	0	0	0
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	6	4	6	9
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	1	0	3	6
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	9	4	0	4
<i>Salvertia convallariodora</i> A.St.-Hil.	4	3	4	8
<i>Vochysia haenkeana</i> Mart.	0	3	0	0
<i>Vochysia rufa</i> Mart.	1	0	0	1
Indeterminada	1	-	-	-

No cerradão, os indivíduos da classe 1 (3 a 10 cm de diâmetro) exibiram distribuição agregada nos sítios CB e SB. Por outro lado, os da classe 2 (indivíduos com diâmetro maior que 10 cm) apresentaram distribuição uniforme no sítio SB e agregada no CB (figura 1a). No cerrado típico, os indivíduos da classe 1 apresentaram distribuição agregada no sítio SB e uniforme no CB, e, na classe 2, a distribuição foi uniforme para as plantas do sítio SB e agregada no CB (Figura 1b).

As variações espaciais entre as fitofisionomias podem estar relacionadas à heterogeneidade do hábitat e à estrutura da vegetação. Capretz et al. (2012) relacionaram as diferentes configurações espaciais de florestas estacionais semidecíduais a processos ecológicos intrínsecos às comunidades. Do mesmo modo, o caráter mais aberto da vegetação e a flora composta por espécies savânicas no cerrado típico podem ter reduzido a dependência espacial dos indivíduos em pequena escala, até mesmo nos sítios adensados pelo bambu. No cerradão, o dossel mais fechado e a flora composta por espécies savânicas e florestais (Marimon-Junior & Haridasan, 2005) podem conferir maior variação estrutural e ambiental a essa fitofisionomia, contribuindo para elevar a heterogeneidade ambiental, por exemplo aumentando o sombreamento e a produção de serrapilheira. Podem também influenciar o estabelecimento das espécies, contribuindo para a agregação dos indivíduos nesses microssítios (Condit et al., 2000; Getzin et al., 2006).

O padrão espacial registrado para os indivíduos da classe 1 nos sítios SB do cerrado típico e do cerradão corrobora as predições do modelo proposto por Hubbell (1979), segundo o qual os indivíduos de menor porte tendem a apresentar maior agregação do que indivíduos maiores. Entretanto, as diferenças encontradas entre as classes de tamanho no sítio CB do cerrado típico podem estar relacionadas ao elevado número de indivíduos na classe 1 (94,4%) registrado nesse sítio, visto que alterações na abundância condicionam variações nos padrões de distribuição espacial (Elias et al., 2013).

Verificamos associação negativa dos indivíduos da classe 1 do cerrado típico com as touceiras de *A. verticillatum* (χ , $p < 0,05$), o que confirma a interferência negativa do bambu na distribuição espacial dos indivíduos jovens. No entanto, a associação negativa da classe 2 do cerradão (χ , $p < 0,05$) com a distribuição das touceiras sugere inibição no crescimento dos bambus por sombreamento, diminuindo as touceiras próximas aos indivíduos lenhosos adultos. Esses resultados podem indicar que o cerradão, cujo dossel é mais contínuo, sofre menor influência do bambu no que se refere aos padrões de distribuição espacial dos indivíduos.

Os sítios SB e CB apresentaram uma nítida distinção florística tanto para o cerradão quanto para o cerrado típico (figuras 2a e 2b). Comparando os sítios SB e CB do cerradão, verifica-se uma elevada distinção taxonômica ($t = 2,91$; $p < 0,01$) (figura 3a), sendo de $96,32 \pm 1,89$ para o primeiro e $93,98 \pm 7,81$ para o segundo. Por outro lado, para o cerrado típico, a distinção taxonômica foi de $95,7 \pm 2,75$ no SB e de $94,06 \pm 15,53$ no CB, sem diferenças significativas entre os valores médios ($t = 1,48$; $p = 0,14$) (figura 3b).

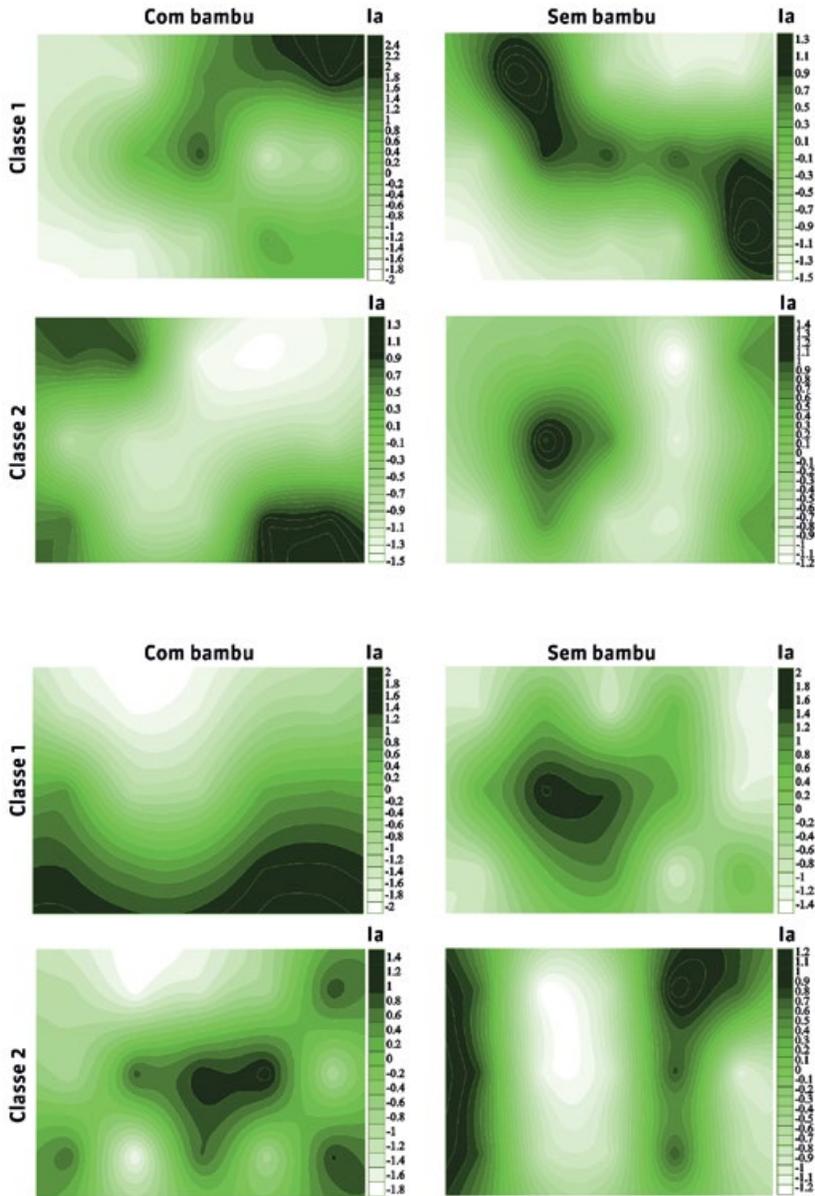


Figura 1. Distribuição espacial dos indivíduos dispostos na classe de tamanho 1 (3 a 10 cm de DAS_{30cm}) e 2 (DAS_{30cm} > que 10 cm) em sítios com e sem a presença de *Actinocladum verticillatum* em um cerradão (a) e um cerrado típico (b) no Parque Municipal do Bacaba, em Nova Xavantina-MT

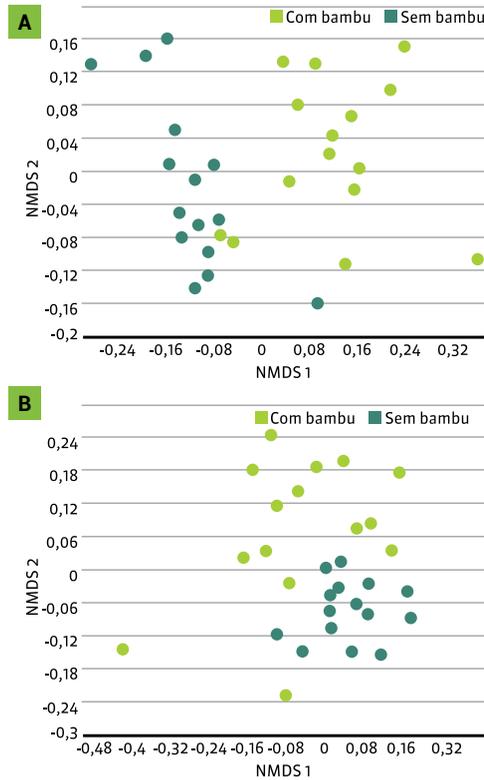


Figura 2. Ordenamento multidimensional não métrico (NMDS) de unidades amostrais dos valores qualitativos da presença e ausência do bambu *Actinocladum verticillatum* em um cerradão (A) e um cerrado típico (B) no Parque Municipal do Bacaba, em Nova Xavantina-MT

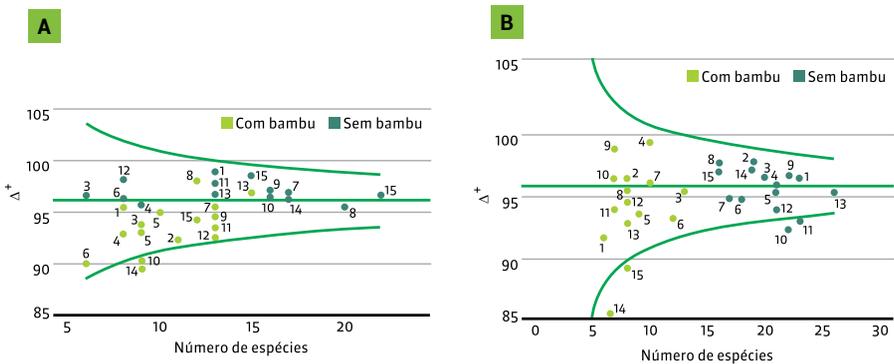


Figura 3. Distinção taxonômica de unidades amostrais com presença e ausência do bambu *Actinocladum verticillatum* em um cerradão (A) e um cerrado típico (B) no Parque Municipal do Bacaba, em Nova Xavantina-MT.

No cerradão, as unidades amostrais com presença de touceiras de *A. verticillatum* apresentaram espécies mais comuns a alguns gêneros, com menor influência sobre a riqueza de espécies por área. No cerrado típico, a diversidade taxonômica não foi distinta para os sítios CB e SB, mas verificou-se uma sensível redução na riqueza de espécies nas áreas CB.

Conclusões

Retomando as questões enunciadas no início do artigo, a análise dos dados permite concluir que:

1. Touceiras de *A. verticillatum* podem provocar reduções na abundância de indivíduos e na riqueza de espécies tanto no cerrado típico quanto no cerradão, sendo mais intensas no cerrado típico;
2. A distribuição espacial dos indivíduos lenhosos em diferentes classes de tamanho é diretamente associada com a ocupação das touceiras de *A. verticillatum* em ambas as fitofisionomias; e
3. As touceiras de *A. verticillatum* podem conduzir à homogeneização taxonômica de fitofisionomias do cerrado, permitindo inferir que a interferência negativa do bambu é mais qualitativa em áreas de cerradão, afetando mais a diversidade taxonômica, e quantitativa em cerrado típico, onde interfere mais na riqueza de espécies.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Projeto PELD (Processo nº 403725/2012-7), pelo apoio financeiro;

Às biólogas Raiane Gonçalves Beu e Maria das Graças Rodrigues de Souza, pela ajuda na etapa de campo.



Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the angiosperm Phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.161, n.1, p.105-121, 2009.
- BUDKE, J.C.; ALBERTI, M.S.; ZANARDI, C.; BARATTO, C.; ZANIN, E.M. Bamboo dieback and tree regeneration responses in a subtropical forest of South America. **Forest Ecology and Management**, v.260, n.1, p.1345-1349, 2010.
- CAPRETZ, R.L.; BATISTA, J.L.F.; SOTOMAYOR, J.F.M.; CUNHA, C.R.; NICOLETTI, M.F.; RODRIGUES, R.R. Padrão espacial de quatro formações florestais do estado de São Paulo, através da função K de Ripley. **Ciência Florestal**, v.22, n.3, p.551-565, 2012.
- CLARKE, K.R.; WARWICK, R.M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. **Marine ecology Progress series**, v.216, p.265-278, 2001.
- CONDIT, R.; ASHTON, P.S.; BAKER, P.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GUNATILLEKE, S.; GUNATILLEKE, N.; HUBBELL, S.P.; FOSTER, R.B.; ITOH, A.; LAFRANKIE, J.V.; LEE, H.S.; LOSOS, E.; MANOKARAN, N.; SUKUMAR, R.; YAMAKURA, T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. **Science**, v.288, p.1414-1418, 2000.
- COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasílica**, v.20, n.1, p.13-23, 2006.
- ELIAS, F.; MARIMON, B.S.; REIS, S.M.D.A.; FORSTHOFER, M.; GOMES, L.; MORANDI, P.S.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Dinâmica da distribuição espacial de populações arbóreas, ao longo de uma década, em cerradão na transição Cerrado-Amazônia, Mato Grosso. **Biota Amazônia**, v.3, n.3, p.1-14, 2013.
- ELIAS, F.; MARIMON, B.S.; NEVES, E.C.; MORANDI, P.S.; REIS, S.M.; MEWS, H.A.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Regeneração de espécies lenhosas sob a influência do bambu *Actinocladum verticillatum* (Nees) McClure ex Soderstr.(Poaceae) em cerradão e cerradão típico na transição Cerrado-Amazônia. **Revista Brasileira de Biociências**, v.13, n.2, p.68-78, 2015.
- FOURNIER, L.A. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. **Turrialba**, v.24, n.4, p.25-26, 1974.
- GETZIN, S.; DEAN, C.; HE, F.; A TROFYMOW, J.; WIEGAND, K.; WIEGAND, T. Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. **Ecography**, v.29, n.5, p.671-682, 2006.
- GRISCOM, B.W.; ASHTON, M.S. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. **Forest Ecology and Management**, v.175, p.445-454, 2003.
- GUILHERME, F.A.G.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; APPOLINÁRIO, V.; BEARZOTI, E. Effects of flooding regime and woody bamboos on tree community dynamics in a section of tropical semideciduous forest in South-Eastern Brazil. **Plant Ecology**, v.174, p.19-36, 2004.
- HUBBELL, S.P. Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest. **Science**, v.203, p.1299-1309, 1979.
- JBRJ. **Lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em 16 jun. 2015.



- MARCHESINI, V.A.; SALA, O.E.; AUSTIN, A.T. Ecological consequences of a massive flowering event of bamboo (*Chusquea culeou*) in a temperate forest of Patagonia, Argentina. **Journal of Vegetation Science**, v.20, p.424-432, 2009.
- MARIMON, B.S.; FELFILI, J.M.; LIMA, E.S.; DUARTE, W.M.G.; MARIMON-JUNIOR, B.H. Environmental determinants for natural regeneration of gallery forest at the Cerrado/Amazonia boundaries in Brazil. **Acta Amazonica**, v.40, p.107-118, 2010.
- MARIMON-JUNIOR, B.H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso. Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, p.915-928, 2005.
- MEWS, H.A.; SILVÉRIO, D.V.; LENZA, E.; MARIMON, B.S. Influência de agrupamentos de bambu na dinâmica pós-fogo da vegetação lenhosa de um cerrado típico, Mato Grosso, Brasil. **Rodriguésia**, v.64, n.2, p.211-221, 2013.
- MONTTI, L.; VILLAGRA, M.; CAMPANELLO, P.I.; GATTI, M.G.; GOLDSTEIN, G. Functional traits enhance invasiveness of bamboos over co-occurring tree saplings in the semideciduous Atlantic Forest. **Acta Oecologica**, v.54, p.36-44, 2013.
- OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.M.; WAGNER, H. **Package 'vegan'**. Community ecology package, version, 2.2.1, 2015.
- PALHARES, D.; FRANCO, A.C.; ZAIDAN, L.B.P. Respostas fotossintéticas de plantas do cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, v.8, n.2, p.213-220, 2010.
- PERRY, G.L.; MILLER, B.P.; ENRIGHT, N.J. A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology. **Plant ecology**, v.187, n.1, p.59-82, 2006.
- PERRY, J.N. Spatial analysis by distance indices. **Journal of Animal Ecology**, v.64, n.3, p.303-314, 1995.
- PERRY, J.N.; BELL, E.D.; SMITH, R.H.; WOIWOD, I.P. SADIE: *software* to measure and model spatial pattern. **Aspects of Applied Biology**, v.46, p.95-102, 1996.
- PERRY, J.N.; DIXON, P.M. **A new method to measure spatial association for ecological count data**. *Ecoscience*, v.9, p.133-141, 2002.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015.
- SILVÉRIO, D.V.; MEWS, H.A.; LENZA, E.; MARIMON, B.S. Impactos do agrupamento do bambu *Actinocladum verticillatum* (Nees) McClure ex Soderstr. (POACEAE) sobre a vegetação lenhosa de duas fitofisionomias de Cerrado na transição Cerrado-Floresta Amazônica. **Acta Amazonica**, v.40, n.2, p.347-355, 2010.
- TEIXEIRA, R.G.; CARNIELLO, M.A.; GUARIN-NETO, G.; SOUZA, F.P. Poaceae – Subfamília Bambusoideae: Espécies catalogadas para o estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.1086-1088, 2007.



Bambu, uma alternativa para o sequestro de carbono

Francelo Mognon⁽¹⁾, Carlos Roberto Sanquetta⁽²⁾, Ana Paula Dalla Corte⁽²⁾, Aurélio Lourenço Rodrigues⁽¹⁾ e Mateus Niroh Inoue Sanquetta⁽³⁾

⁽¹⁾ Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP 80.210-170. E-mails: mognonf@gmail.com, alourencorodrigues@gmail.com

⁽²⁾ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP 80.210-170. E-mails: sanquetta@ufpr.br, anapaulacorte@gmail.com

⁽³⁾ Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP 80.210-170. E-mail: mateus.sanquetta@hotmail.com

Resumo – Este trabalho teve como objetivo quantificar a biomassa aérea, os teores e os estoques de carbono em cinco espécies de bambu. Foram utilizados 170 colmos com seus respectivos galhos e folhagem, oriundos de um plantio experimental em Pinhais (PR), com cinco anos de idade. Modelos matemáticos foram testados para estimar a biomassa em função de variáveis biométricas dos colmos. A maior fração da biomassa em todas as espécies foi o colmo, seguida por galhos e folhagem. Para *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris*, *Bambusa oldhamii*, *Meros-tachys skvortzovii* e *Guadua chacoensis*, o compartimento do colmo representou 76%, 68%, 64%, 62% e 47%, respectivamente. O maior teor de carbono médio foi registrado para *B. vulgaris* (46,2%), seguido de *D. asper* (46,0%), *B. oldhamii* (45,4%), *M. skvortzovii* (44,5%) e *G. chacoensis* (42,6%). Equações lineares com a variável DAP (diâmetro à altura do peito) quadrático apresentaram bons ajustes. A espécie exótica e cultivada no Brasil, *B. oldhamii*, foi a que apresentou o mais elevado potencial de estocagem de carbono por hectare.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: ALOCAÇÃO, EQUAÇÕES MATEMÁTICAS, EXPERIMENTO, MODELOS, TEORES DE CARBONO.



Bamboo, an alternative for carbon sequestration

Abstract – This study aimed to quantify the surface biomass and carbon contents and stocks in five species of bamboo. We used 170 culms as well as their branches and foliage, from a 5-year old experiment located in Pinhais (PR). We tested mathematical models based upon biometric variables of the culms to estimate biomass. All species allocated the major biomass fraction in the culms, followed by branches and foliage. Biomass partitioning in culms for *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris*, *B. oldhamii*, *Merostachys skvortzovii* and *Guadua chacoensis* were 76%, 68%, 64%, 62% and 47%, respectively. The highest average carbon content value was registered for *B. vulgaris* (46.2%), followed by *D. asper* (46.0%), *B. oldhamii* (45.4%), *M. skvortzovii* (44.5%) and *G. chacoensis* (42.6%). Linear equations with quadratic DBH (diameter at breast height) as independent variable presented good fitting. The exotic and cultivated species *B. oldhamii* showed the highest carbon storage potential per hectare among the species studied.

INDEX TERMS: PARTITIONING, MATHEMATICAL EQUATIONS, EXPERIMENT, MODELS, CARBON CONTENT.

Introdução

A ação humana muda a natureza de forma rápida e contínua. Em todas as partes do mundo, a exploração indiscriminada dos recursos naturais vem causando grandes impactos, e o uso dos solos é um fator de extrema relevância nessa equação: o desmatamento, além de causar perda de biodiversidade, também acarreta a emissão de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Para se ter uma ideia, no Brasil, em 2005, as emissões de GEE provenientes do uso da terra e florestas correspondiam a 57% do total. Somadas às do setor agropecuário, representavam 77% das emissões do país. Já em 2010, quando houve uma redução nas emissões totais de GEE em função da redução do desmatamento no período, o uso da terra e das florestas e as atividades agropecuárias representaram 57% do total de emissões (MCTI, 2013) – ainda assim, um percentual considerável. Portanto, é fundamental buscar propostas para minimizar os impactos ambientais dessas atividades, optando-se por materiais renováveis e processos mais sustentáveis (Bonilla et al., 2010).



Nesse contexto, o bambu se destaca como um dos principais produtos florestais não madeiráveis e potencial substituto da madeira em função da presença de tecido lenhoso em sua estrutura fisiológica (FAO, 2007). Os bambus também têm capacidade de sequestrar rapidamente o carbono atmosférico e apresentam excelentes características físicas e mecânicas, configurando, assim, uma alternativa promissora à madeira em atividades que buscam o desenvolvimento sustentável (Bonilla et al., 2010). No entanto, segundo Lobovikov e colaboradores (2012), essa matéria-prima tem sido negligenciada no conjunto de discussões sobre a mitigação das mudanças climáticas. Pouco se fala sobre o uso potencial das diferentes espécies de bambu, por exemplo nas negociações internacionais, como as ocorridas no “Acordo de Marrakech”, ou nas diretrizes surgidas a partir das avaliações do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e padrões análogos do mercado voluntário de carbono preveem que projetos de florestamento e reflorestamento possam contribuir com a mitigação das alterações climáticas de origem antropogênica. O Conselho Executivo do MDL permite que projetos de florestamento ou reflorestamento com espécies de bambu sejam registrados, mas delega a decisão final para cada país. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), por sua vez, reconhece explicitamente as potenciais contribuições dos bambus para a mitigação das mudanças climáticas e incentiva a inclusão de métodos quantitativos de carbono de bambu em acordos sobre mecanismos e mercado de carbono (Inbar, 2014).

Assim, as comunidades associadas ao tema têm muito a cooperar nos acordos atuais das mudanças climáticas e nas negociações para o período pós-Quioto. Em relação ao mecanismo Redução de Emissões pelo Desmatamento e Degradação Florestal (REDD, na sigla em inglês), o bambu, como substituto da madeira ou como componente de sistemas agroflorestais, pode reduzir as pressões de desmatamento e degradação florestal, além de contribuir para a conservação e valorização do estoque de carbono armazenado (Lobovikov et al., 2012).

Para desenvolver projetos com esse foco, um dos primeiros passos é utilizar metodologias adequadas para quantificar o carbono nos bambuzais. Na China, formulou-se uma proposta de metodologia para projetos de florestamento, na qual são descritas as variáveis necessárias para a realização das estimativas em projetos de fixação de carbono com bambus (Guomo et al., 2013). No Brasil, entretanto, tais metodologias são muito incipientes. O conhecimento sobre a capacidade de fixação de carbono por bambus ainda

é limitado, pois estudos sobre determinação direta e modelagem (método indireto) são raros. O objetivo deste estudo foi, portanto, quantificar a estocagem de biomassa e carbono em cinco espécies de bambus plantadas em um experimento com cinco anos de idade, em Pinhais, no Paraná.

Material e métodos

Este estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, no município de Pinhais, Paraná. As coordenadas geográficas centrais do local são: X: 688200m e Y: 7190200m, de acordo com o sistema de projeção UTM (datum SAD-69, UTM Fuso 22S). A altitude varia de 889 a 950m acima do nível do mar e a inclinação, de 3 a 20%.

O tipo climático da área de estudo é subtropical (Cfb), de acordo com a classificação de Köppen, com médias mensais de temperatura variando de 12,5 °C a 22,5 °C, e sujeito a geadas severas durante o inverno (Iapar, 1994). A precipitação anual histórica é de 1.452mm (Maack, 1981) e os principais tipos de solos que caracterizam o local são os cambissolos, latossolos, gleissolos e organossolos (Sugamoto, 2002).

O experimento foi estabelecido em dezembro de 2008, em um delineamento de blocos ao acaso com seis tratamentos (três espécies nativas e três exóticas naturalizadas e/ou cultivadas) com quatro repetições, representadas por parcelas com área de 300m² e compostas por 12 plantas cada uma. As espécies exóticas são *Dendrocalamus asper* (Schult & Schult F.) Backer ex k. Heyne, *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl e *Bambusa oldhamii* Munro. Já as espécies nativas são *Guadua chacoensis* Londoño & Peterson, *Merostachys skvortzovii* Sendulski e *Guadua angustifolia* Kunth, que não foi analisada neste estudo por não apresentar disponibilidade de material amostral. Mais detalhes do experimento são apresentados em Mognon (2015) e no artigo “Em busca de características promissoras: avaliação experimental de seis espécies de bambu em Pinhais (PR)”, também publicado neste livro.

Foi determinada a biomassa seca (biomassa sem umidade da parte aérea da planta) em 170 colmos de bambu, sendo 34 amostras por espécie, dispostas segundo a distribuição diamétrica dos indivíduos aos 5 anos de idade (Mognon, 2015). Para a determinação da biomassa verde (biomassa com umidade), utilizou-se o método direto ou destrutivo. Antes de cortar as plantas, foram mensuradas as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e diâmetro do colo (dcolo), com auxílio de um paquímetro. Posteriormente ao corte, foram medidas as alturas totais das plantas, com trena. A massa fresca da parte aérea



das plantas foi determinada com auxílio de uma balança digital com precisão de 1g. Nas pesagens da biomassa verde, foi utilizado o método de simples separação (Sanquetta, 2002), considerando os seguintes compartimentos: colmo, galhos e folhagem, exceto para a espécie *M. skvortzovii* que, por sua morfologia, foi separada apenas em colmo e galho + folhagem (agrupados em um só compartimento). Para a espécie *D. asper*, foram avaliados apenas os compartimentos colmo e galhos, sem a determinação da biomassa da folhagem, tendo em vista que esta foi comprometida pelas baixas temperaturas durante o inverno, que resultaram na queda das folhas.

Amostras de 500g da biomassa verde foram retiradas de cada compartimento para determinações de teores de matéria seca e de carbono. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e encaminhadas para o laboratório para posterior secagem em estufa (70 °C) até atingir peso constante, visando à obtenção da massa seca total e por compartimentos.

Foram ajustadas equações matemáticas para todas as espécies analisadas. Para os ajustes das equações de massa seca aérea foram utilizados 24 colmos de cada espécie, com as respectivas biomassas dos galhos e folhagem. Os modelos testados constam na tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos testados para a estimativa de biomassa seca aérea

Nº	Modelo
1	$ps = \beta_0 + \beta_1 h$
2	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP$
3	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$
4	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo$
5	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo^2$
6	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo \cdot DAP$
7	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 DAP$
8	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 h$
9	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 h$
10	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^3$
11	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP \cdot h$
12	$ps = \beta_0 + \beta_1 (DAP^{0,5} \cdot \ln DAP)$
13	$\ln ps = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \beta_2 \ln h$

ps: peso seco (kg), DAP, diâmetro à altura do peito (cm), dcolo: diâmetro à altura do colo (cm), h: altura (m), ln (logaritmo neperiano), β_0 ; β_1 e β_2 (coeficientes da regressão).

Após a seleção das melhores equações ajustadas para as estimativas da biomassa seca aérea de cada espécie de bambu, procedeu-se à validação independente das melhores equações selecionadas com os 10 colmos restantes. Os modelos alométricos foram ajustados para estimativas de biomassa por meio de regressão linear, utilizando-se os softwares Microsoft Excel® e Statistica 7©. A qualidade dos ajustes foi avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) e análise gráfica de resíduos.

Para determinar o carbono orgânico total, as amostras foram secas e trituradas em moinho de facas, considerando cada compartimento separadamente. As análises dos teores de carbono foram realizadas no equipamento marca Leco, modelo C-144. Para a quantificação dos teores médios de carbono, os dados foram ponderados pela biomassa de cada compartimento, a fim de representar sua real contribuição. Os teores de carbono foram comparados por meio de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p < 0,05$). De posse das melhores equações de biomassa e dos teores de carbono ponderados de cada espécie, foram estimados por meio da multiplicação da biomassa pelo teor de carbono ponderado, resultando assim nos estoques de carbono acima do solo por hectare, tomando-se por base o inventário do experimento no ano de 2014 (Mognon, 2015).

Resultados e discussão

As análises de partição da biomassa seca acima do solo das espécies de bambu estudadas indicaram que o colmo representa a maior fração, variando de 47 a 76%, para *G. chacoensis* e *D. asper*, respectivamente. O compartimento galhos vem em seguida, com 18 a 36%, para *D. asper* e *G. chacoensis*, respectivamente. Já a fração folhagem variou de 6 a 17%, respectivamente para *D. asper* e *G. chacoensis* (ver figura 1).

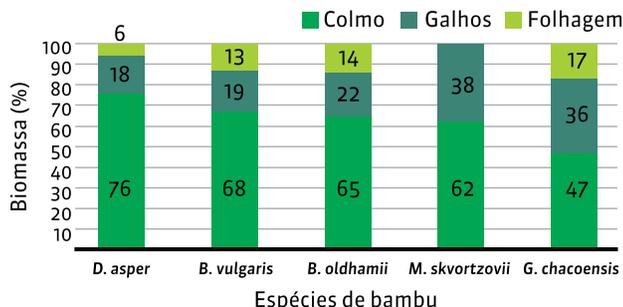


Figura 1. Partição da biomassa seca acima do solo em cinco espécies de bambu em um experimento de cinco anos de idade em Pinhais (PR)

Estudos de quantificação de biomassa em plantações de *Guadua angustifolia* e *Bambusa vulgaris* realizados por Marín e colegas (2011) na Venezuela revelaram que, para a primeira espécie, 81,7% da biomassa aérea dos bambus estava alocada nos colmos, 14,2% nos galhos e 4,1% nas folhas. Já para a segunda, os valores foram de 85,5%, 12,8% e 1,7%, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Mognon e colaboradores (2014) ao estudar *G. chacoensis*, cujos percentuais de biomassa total foram 69,2% no colmo, 10,8% nos galhos, 4,2% na folhagem e 15,7% nos rizomas. Os autores trabalharam com amostras coletadas em plantas estabelecidas em ambiente natural e possivelmente com maior idade em comparação às plantadas do experimento descrito no presente artigo, o que provavelmente explica diferenças no percentual de cada compartimento para essa espécie com os resultados deste estudo.

Segundo Shanmughavel e colaboradores (2001), estudando *Bambusa bambos*, a contribuição do colmo para a produção da biomassa total no primeiro e sexto anos foi, respectivamente, de 30% e 85%, enquanto a contribuição das folhas foi de 7 e 1%, respectivamente. Os resultados são semelhantes aos desta pesquisa, sendo importante destacar que, provavelmente, a idade poderia influenciar na participação de cada compartimento na biomassa total.

Estudos realizados por Dallagnol e colegas (2012) sobre a quantificação de biomassa de *M. skvortzovii* no sul do Paraná revelaram que aproximadamente 90% da biomassa total está localizada na parte aérea da planta, 62,6% no colmo, 16,2% nos galhos e 11,6% nas folhas. A quantificação de biomassa em *D. asper*, conduzida na área Experimental Agrícola da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em São Paulo (Mognon et al., 2015), revelou que 74% da biomassa aérea correspondem ao colmo e 19% aos galhos. Esses resultados foram similares aos do presente estudo.

Já estudos de quantificação de biomassa para *B. vulgaris* realizados por Sanquetta e colaboradores (2015) revelaram que 85% da biomassa total está contida na parte aérea. Os colmos representam 68%, com 11% nos galhos e 6% no compartimento da folhagem. Resultados semelhantes foram observados por Shanmughavel e Francis (1996), que encontraram a seguinte alocação de biomassa para *Bambusa* bambos: 80-85% distribuída nos colmos, 15-20% nos galhos e apenas 1% na folhagem.

Por fim, estudos de quantificação de biomassa realizados em *Bambusa oldhamii* por Sanquetta e colegas (2015) revelaram que 91% da biomassa total está contida na parte aérea, sendo que os colmos representam 75%; os galhos, 11%; e a folhagem, 5%. Segundo Marengo e Lopes (2005), a maioria das espécies de bambu aloca a maior fração de seus assimilados na parte aérea.

Entre os modelos testados neste trabalho para determinar a massa seca acima do solo em cinco espécies de bambu, os que apresentaram os melhores ajustes foram o 3 e o 6 (ver tabela 2). Os valores dos coeficientes de determinação variaram de 0,90 a 0,97 e os erros padrão da estimativa, de 10,85 a 17,60%. Esses valores indicam que os ajustes foram satisfatórios e as equações estimam a biomassa com precisão. A análise gráfica de resíduos, ilustrada pela figura 2, demonstra adicionalmente que as estimativas com as equações ajustadas não apresentam viés, podendo ser utilizadas com segurança.

Tabela 2. Estatísticas das melhores equações matemáticas ajustadas para massa seca acima do solo

Espécie		Modelo	β_0	β_1	R ² aj.	Syx %
<i>G. chacoensis</i>	3	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	0,90524	0,24020	0,96	10,85
	6	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo \cdot DAP$	0,61333	0,20432	0,96	10,86
<i>M. skvortzovii</i>	3	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	0,06822	0,06895	0,90	17,60
	6	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo \cdot DAP$	0,05937	0,06867	0,90	17,22
<i>D. asper</i>	3	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	0,66797	0,16767	0,95	12,75
	6	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo \cdot DAP$	0,38570	0,13172	0,95	13,71
<i>B. vulgaris</i>	3	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	0,55567	0,17820	0,97	11,60
	6	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo \cdot DAP$	0,34576	0,15342	0,95	13,58
<i>B. oldhamii</i>	3	$ps = \beta_0 + \beta_1 DAP^2$	0,53290	0,19118	0,95	14,36
	6	$ps = \beta_0 + \beta_1 dcolo \cdot DAP$	0,30788	0,16095	0,96	13,05

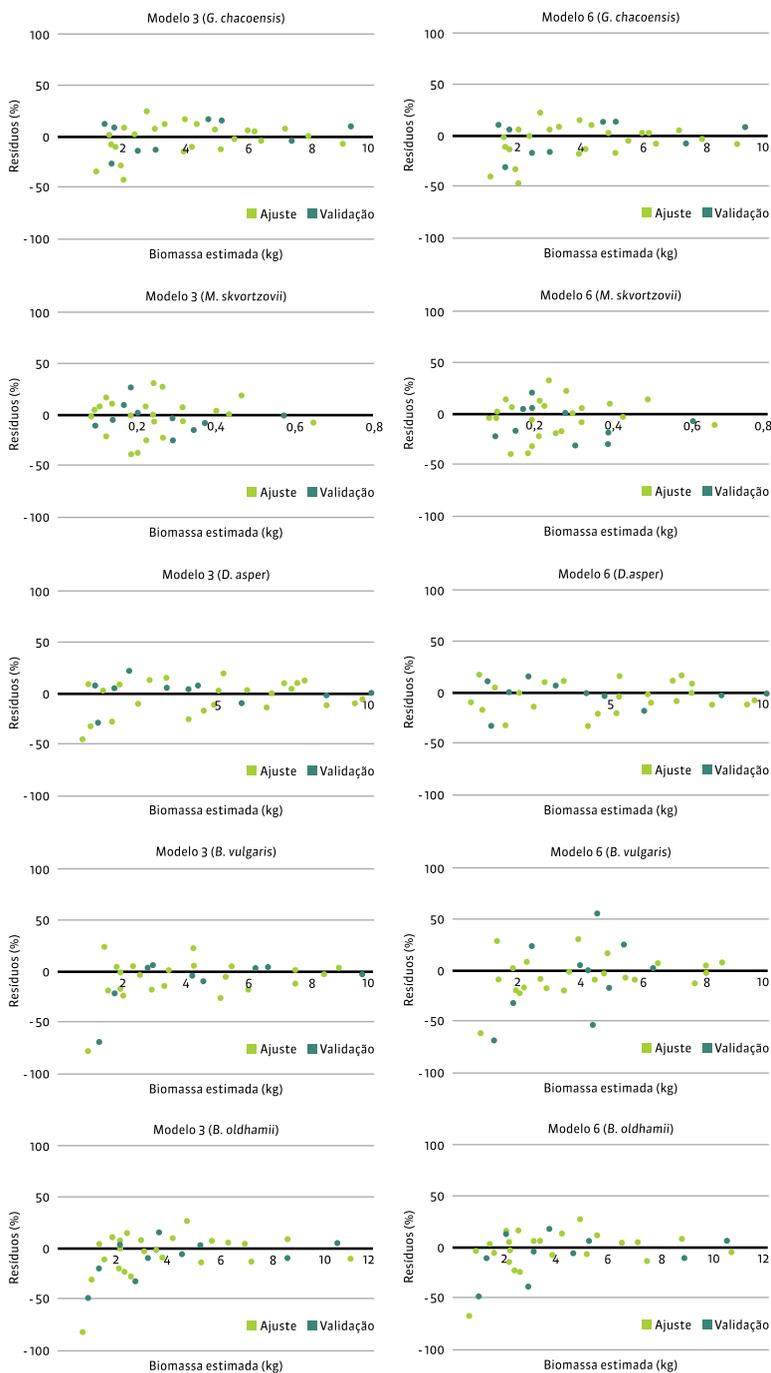


Figura 2. Distribuição gráfica dos resíduos das melhores equações ajustadas para estimativa da biomassa aérea

Em trabalho desenvolvido por Torezan e Silveira (2000) com *Guadua weberbaueri* Pilger, utilizando o DAP para estimativa de biomassa, o coeficiente de determinação foi de 0,75. Ao ajustar equação polinomial do 3º grau, considerando o DAP, os mesmos autores encontraram estatísticas melhores ($R^2_{aj.} = 0,81$). Entretanto, segundo os autores, deve-se tomar cuidado com ajustes com modelos polinomiais, pois os mesmos não apresentam concretamente a relação alométrica entre as variáveis: peso seco e diâmetro. Estatísticas semelhantes às deste estudo foram encontradas por Mognon e colegas (2014) com espécies do gênero *Guadua*, com coeficiente de determinação de 0,92 e erro padrão da estimativa de 15%, sugerindo que é possível estimar biomassa e carbono estocados em bambus com modelos matemáticos.

Estudo desenvolvido por Dallagnol e colaboradores (2012) com *M. skvortzovii*, utilizando modelo de dupla entrada (DAP e altura) para estimativa de biomassa, encontrou coeficiente de determinação de 0,66 na estimativa de biomassa, considerado razoável para a espécie. Esse valor é comparativamente inferior ao do presente estudo. A diferença pode ser explicada pelos indivíduos amostrados, que representavam condições naturais de desenvolvimento diferentemente dos aqui utilizados, que advêm de plantio experimental em condições mais controladas. A aplicação das equações ajustadas deve, portanto, limitar-se a condições semelhantes; no caso, plantios, e não populações regeneradas naturalmente.

No presente trabalho, em função das estatísticas semelhantes encontradas nas equações 3 e 6, optou-se por utilizar o modelo 3 ($p_s = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}^2$), vista sua simplicidade e facilidade de ajuste e coleta da variável independente. A seleção do modelo 3 como o mais adequado foi corroborada pela análise gráfica dos resíduos (figura 2). A espécie que apresentou maior destaque em relação ao teor de carbono foi *B. vulgaris* e a de menor foi *G. chacoensis* (tabela 3). Em relação ao coeficiente de variação, todas as espécies apresentaram valores inferiores a 2,5%.



Tabela 3. Estatísticas descritivas dos resultados dos teores ponderados de carbono

Espécie	n	Média (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	s	s ²	CV (%)
<i>G. chacoensis</i>	34	42,62	41,70	43,53	0,92	0,84	2,15
<i>M. skvortzovii</i>	34	44,52	43,53	45,52	0,99	0,99	2,23
<i>D. asper</i>	34	46,03	45,06	47,00	0,97	0,94	2,11
<i>B. vulgaris</i>	34	46,15	45,09	47,21	1,06	1,12	2,30
<i>B. oldhamii</i>	34	45,36	44,23	46,48	1,12	1,26	2,48

n = observações; mín. = valor mínimo; máx. = valor máximo; s = desvio padrão; s² = variância; CV= coeficiente de variação.

Trabalhos realizados por Mognon e colegas (2015) sobre equações de biomassa para *D. asper*, analisando variáveis biométricas do colmo (dcolo, DAP e altura), indicaram que o melhor ajuste se deu apenas para o DAP, resultando em um coeficiente de determinação ajustado próximo de 0,6, com erro padrão da estimativa inferior a 20%. Singh e Singh (1999), que estudaram a espécie *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees, ajustaram equações matemáticas para estimativa de biomassa e obtiveram coeficiente de determinação de 0,93. Ajustes de equação para estimativas de biomassa também foram realizados por Sanquetta e colegas (2015) com *B. vulgaris* e *B. oldhamii*. Os autores utilizaram o DAP e a altura do colmo para estimativa de biomassa total, encontrando coeficiente de determinação de 0,76 e 0,78, respectivamente.

Em estudo com *B. bambos*, Shanmughavel e Francis (1996) encontraram coeficiente de determinação de 0,83 para estimativa de biomassa total, utilizando a variável transformada $\ln(\text{DAP}^2 \cdot h)$. Contudo, tais autores citam que as equações que necessitam de alturas muitas vezes não podem ser utilizadas pela grande demora na mensuração dessa variável. Por isso, há uma preferência por utilizar apenas o DAP, por ser mais prático e de mais rápida obtenção em campo. Essa posição também é compartilhada por Sanquetta e colegas (2015).

Os teores de carbono encontrados neste estudo foram similares aos reportados por Dallagnol (2012), que avaliou o teor de carbono de seis espécies de bambu utilizando plantas adultas e aplicando os mesmos métodos deste trabalho, porém com base na média aritmética simples e não ponderada pelos compartimentos. Segundo o autor, a espécie com maior teor de carbono foi *M. skvortzovii* (42,36%), seguida por *D. asper* (42,29), *B. vulgaris* (42,03), *G. angustifolia* (41,53), *B. oldhamii* (41,13) e *G. chacoensis* (38,04).

No presente estudo, analisando as espécies e os compartimentos em separado, observou-se que os teores de carbono apresentaram diferenças signi-

ficativas a 95% de probabilidade (tabela 4). *B. vulgaris* apresentou os maiores valores em relação aos compartimentos colmo e folhagem e *B. oldhamii* apresentou o maior valor para os galhos.

Tabela 4. Teores de carbono ($\text{g.g}^{-1} \text{ dm} * 100$)

Compartimento	<i>G. chacoensis</i>	<i>M. skvortzovii</i>	<i>D. asper</i>	<i>B. vulgaris</i>	<i>B. oldhamii</i>
Colmo	42,87Cb	46,17Ba	46,90Aa	47,16Aa	45,89Ba
Galhos	44,01Ba	-	44,40Bc	45,91Ab	46,19Aa
Folhagem	38,34Cc	41,98Ac	-	42,98Ac	41,48Bc
parte aérea (ponderado)	42,62Db	44,52Cb	46,03Ab	46,15Ab	45,36Bb

Letras iguais em caixa alta indicam que as médias das espécies não diferem significativamente ($p < 0,05$).

Letras iguais em caixa baixa indicam que as médias entre os compartimentos não diferem significativamente ($p < 0,05$) entre si.

De todos os compartimentos e espécies aqui avaliados, a folhagem foi a que apresentou o menor teor de carbono. Resultados assim também foram encontrados por Dallagnol (2012), que estudou as mesmas espécies, porém em indivíduos adultos em ambiente natural, bem como em trabalhos realizados por Yen e colegas (2010), que estudaram a espécie alastrante *Phyllostachys makinoi* em cultivos na China. Os autores registraram teores de carbono em plantas com dois anos de idade (39,0% folhagem, 45,7% para galhos e 47,8% para colmos) e também observaram diferenças significativas dos teores de carbono em amostras com idades diferentes.

Comparando os resultados dos teores de carbono encontrados neste trabalho com valores para outras espécies lenhosas, pode-se evidenciar que as espécies de bambu possuem teores de carbono similares aos de espécies arbóreas (Dallagnol et al., 2011; Sanquetta et al., 2013). Embora pertençam à família Poaceae, que abrange uma grande maioria de plantas C₄, os bambus, assim como as espécies arbóreas, são classificados como C₃ (Bahtiar et al., 2012).

Considerando os dados do experimento como um todo, conforme explicado também no artigo “Em busca de características promissoras: avaliação experimental de seis espécies de bambu em Pinhais (PR)”, neste livro, a aplicação das melhores equações de biomassa e os teores médios ponderados de carbono pelos compartimentos, a estocagem de carbono por hectare aos cinco anos de idade variou de 4,5 a 76,3 Mg.ha^{-1} , sendo a mais baixa registrada para a espécie nativa *M. skvortzovii* e a maior para a espécie exótica e cultivada *B. oldhamii*. As espécies *B. vulgaris*, *G. chacoensis* e *D. asper* estocaram 34,9; 12,6 e 8,8 Mg.ha^{-1} , respectivamente.



Conclusões

1. Os dados apontam que a maior estocagem de biomassa nas espécies de bambu estudadas se dá nos colmos, depois nos galhos e, por último, nas folhas.
2. As espécies do gênero *Bambusa* apresentaram maiores teores de carbono em relação às demais estudadas e, destas, *B. oldhamii* apresentou a maior estocagem de carbono por hectare em cinco anos de experimento.
3. Equações matemáticas de estoque individual de biomassa que empregam apenas o DAP quadrático se ajustaram bem aos dados e podem ser empregadas com segurança em estimativas de estoque de carbono em indivíduos jovens e em plantios de bambu.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Genpes), da Petrobras, à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à Fundação da Universidade Federal do Paraná (Funpar), pelo financiamento deste projeto;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por concessão de bolsas de pesquisa vinculadas a este projeto;

Aos integrantes do Centro BIOFIX de Pesquisas em Biomassa e Carbono, da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio em atividades de campo e de laboratório.

Referências

- BAHTIAR, E.T.; NUGROHO, N.; CAROLINA, A.; MAULANA, A.C. Measuring carbon dioxide sink of betung bamboo (*Dendrocallamus asper* (Schult f.) Backer ex Heyne) by Sinusoidal Curves Fitting on Its Daily Photosynthesis Light Response. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.2, p.780-788, 2012.
- BONILLA, S.H.; GUARNETTI, R.L.; ALMEIDA, C.M.V.B.; GIANNETTI, B.F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p.83-91, 2010.

- DALLAGNOL, F.S. Estimativa de teores de carbono em seis espécies de bambu por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2012. DALLAGNOL, F.S.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.4, p.410-416, 2011.
- DALLAGNOL, F.S.; MOGNON, F.; RIBEIRO, R.M.; BEHLING, A.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Modelagem da biomassa individual de *Merostachys skvortzovii* Sendulski. In: **11º Congresso florestal do Rio Grande do Sul e seminário Mercosul da cadeia madeireira**, Nova Prata/RS. 2012.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **World bamboo resources – A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005**. Rome: FAO, 2007. 73p.
- GUOMO, Z.; YONGJUN, S.; YIPING, L.; JINLIANG, L.; KUEHL, Y.; JIANHUA, C.; GUOQING, M.; YEYUN, H.; XINMIN, W.; TIANFEI, Y. Methodology for carbon accounting and monitoring of bamboo afforestation projects in China. **International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) Working Paper**, n.73, 69p, novembro, 2013.
- INBAR International Network for Bamboo and Rattan. **Bamboo: a strategic resource for countries to reduce the effects of climate change**. Beijing, 2014. 20p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas do estado do Paraná**, Londrina, 1994. 49p.
- LOBOVIKOV, M.; SCHOENE, D.; YIPING, L. Bamboo in climate change and rural livelihoods. **Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change**, v.17, p.261- 276, 2012.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 2. ed., 1981. 450 p.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa-MG, Editora UFV. 2005. 451p.
- MARÍN, D.; GUEDEZ, Y.; HERNÁNDEZ, L.D. Las plantaciones de *guadua* (*Guadua angustifolia* Kunth) y bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad.) de San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. III. Estructura de las plantaciones y balance de nutrientes. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)**, v.28, p.441-459. 2011.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2013. 76p.
- MOGNON, F. **Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu**. 80p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- MOGNON, F.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R.; BARRETO, T.G.; WOJCIECHOWSKI, J. Equação de biomassa individual para duas espécies de bambu do gênero *Guadua*. **Revista Ceres**, v.61, n.6, p.900-906, 2014.
- MOGNON, F.; RODRIGUES, A.L.; SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; NOVAES, A.B.; BLUM, C.T. Alocação e modelagem da biomassa em *Dendrocalamus asper*. **Floresta**, v.45, n.1, 2015.
- SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M.A.B.; GOMES, F.S (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, Editoração dos autores, p.119-140, 2002.
- SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; ROGLIN, A.; MOGNON, F. Biomassa individual de *Bambusa oldhamii* Munro e *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. **Revista Cerne**, v.21, n.1, p.151-159, 2015.

- SANQUETTA, M.N.I.; SANQUETTA, C.R.; DALLA CORTE, A.P.; MOGNON, F.; MENDONÇA, V.C. Teores de carbono e densidade básica da madeira de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don em povoamentos no município de Rio Negro – PR. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.2450-2458, 2013.
- SHANMUGHAVEL, P.; FRANCIS, K. Aboveground biomass production and nutrient distribution in growing bamboo (*Bambusa bamboo* (L.) Voss). **Biomass and Bioenergy**, v.10, n.5/6, p.383-391, 1996.
- SHANMUGHAVEL, P.; PEDDAPPAIAH, R.S.; MUTHUKUMARA, T. Biomass production in an age series of *Bambusa bambos* plantations. **Biomass and Bioenergy**, v.20, p.113-117, 2001.
- SINGH, A.N.; SINGH, J.S. Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on soil redevelopment in a dry tropical region. **Forest Ecology and Management**, n.19, p.195-207, 1999.
- SUGAMOSTO, M.L. Uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa de aptidão agrícola e avaliação da adequação de uso do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, Município de Pinhais – Paraná. 133p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- TOREZAN, J.M.D.; SILVEIRA, M. The biomass of bamboo (*Guadua weberbaueri* Pilger) in open forest of the southwestern Amazon. **Ecotropica**, v.6, p.71-76, 2000.
- YEN, T.M.; JI, Y.J.; LEE, J.S. Estimating biomass production and carbon storage for a fast-growing makino bamboo (*Phyllostachys makinoi*) plant based on the diameter distribution model. **Forest Ecology and Management**, v.260, p.339-344, 2010.





Metabolismo sazonal de carboidratos e compostos fenólicos em bambus como subsídio à conservação pós-colheita

Vitor Hugo dos Santos Brito⁽¹⁾, Ismael Plácido Tomielis⁽¹⁾,
Edilson Soares Silveira⁽¹⁾ e Marney Pascoli Cereda⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Tecnologia e Estudo do Agronegócio (CeTeAgro), Universidade Católica Dom Bosco.

Av. Tamandaré, 8000, Jardim Seminário, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

E-mails: britovhs@gmail.com, ismaeltomielis@gmail.com, edilson.silveira@ifms.edu.br e cereda@ucdb.br

Resumo – O objetivo do trabalho foi estabelecer a variação sazonal de carboidratos e fenólicos em *Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata* como subsídio para uma melhor compreensão dos fatores envolvidos na conservação pós-colheita. A pesquisa foi realizada no período de 2009 a 2010, abrangendo os períodos primavera-verão e outono-inverno da região Centro-oeste. O primeiro período caracterizou-se por maior pluviosidade ($191,17 \pm 79,34$ mm) e temperatura ($25,21 \pm 12,70$ °C) e o segundo por índices mais baixos ($51,48 \pm 41,84$ mm e $22,22 \pm 16,4$ °C). Foram coletados colmos maduros mensalmente e quantificou-se a glicose, os carboidratos não redutores, o amido e os fenólicos. Os dados inferem uma resposta fisiológica, com maior variação de carboidratos e fenólicos na primavera-verão. Os colmos maduros cortados no período outono-inverno apresentam maiores teores de carboidratos e menores teores de fenólicos, cenário oposto ao que ocorre no período primavera-verão, indicando que o período de desenvolvimento vegetativo é o que apresenta melhor potencial de conservação pós-colheita.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: AMIDO, GLICOSE, VERÃO, INVERNO.



Seasonal variation of bamboos carbohydrate and phenolics compounds as contribution for the post-harvest conservation

ABSTRACT – *The aim of this study was to establish the seasonal variation of carbohydrates and phenolics in Bambusa multiplex, B. vulgaris e B. vulgaris var. Vitata, as a contribution to a better understanding of post-harvest conservation. The research was conducted in 2009 and 2010, covering the two seasons which characterize the Midwest region of Brazil. The spring-summer period was characterized by higher rainfall (191.17 ± 79.34 mm) and temperature (25.21 ± 12.70 °C) and the autumn-winter period by lower rates (51.48 ± 41.84 mm and 16.4 ± 22.22 °C). Mature culms were collected monthly and samples of glucose, non-reducing carbohydrates, starch and phenolics were quantified. Data showed physiological response with greater variation in carbohydrates and phenolics in the spring-summer period. In those circumstances, the mature stalks cut during the autumn-winter period present higher carbohydrates and lower phenolics concentrations, while in the spring-summer period the profile would be the opposite, indicating that the vegetative growth period would be the one with best potential of post-harvest storage.*

INDEX TERMS: STARCH, GLUCOSE, SUMMER, WINTER.

Introdução

A seleção de espécies de bambus (Poaceae) para uso industrial ou com finalidade estrutural está diretamente relacionada às propriedades físico-mecânicas e à durabilidade do material, que por sua vez depende de atributos químicos, principalmente de carboidratos como celulose, amido e açúcares solúveis (Azzini et al., 1987; Mohmod et al., 1991; Nascimento, 1995).

De acordo com hipótese apresentada em diferentes estudos publicados na literatura nacional e internacional, o amido e outros carboidratos agem como atrativos à infestação de organismos xilófagos, além de fornecerem energia para o espessamento das paredes celulares e crescimento dos bambus, sendo, portanto, de extrema importância avaliar a variação desses carboidratos (Okahisa et al., 2006).

Essa hipótese é reforçada por Matoski e Rocha (2006), segundo os quais a incidência de ataque tem forte correlação com a abundância de nutrientes, pois o amido e carboidratos solúveis são nutricionalmente essenciais a esses insetos. O grau de ataque é variável para as diferentes espécies de bambu e locais. Há relatos de que o ataque de carunchos ocorre preferencialmente em certas épocas do ano (Azzini et al., 1978), ao passo que a literatura técnica relata menor ataque nos meses de repouso vegetativo, em razão de temperatura, seca ou fotoperíodo (Matoski e Rocha, 2006).

Quando armazenado, tanto em colmos como na forma de produtos acabados, o bambu apresenta grande suscetibilidade ao ataque de carunchos, sobretudo *Dinoderus minutus* (Fabr.). Essa é a razão para que o período de conservação do material seja reduzido (Viado & Ylagan, 1958).

A hipótese de que os componentes nutricionais, principalmente os carboidratos, seriam os atrativos para o ataque leva a sugestões de medidas preventivas para minimizá-lo. Segundo Azinni et al. (1978), colher colmos maduros no período de seca seria suficiente para reduzir o ataque dos insetos, enquanto que, para Matoski e Rocha (2006), a colheita deveria ser feita de acordo com as fases da Lua, sendo a Lua Cheia a melhor fase para realizar o corte, devido ao efeito desorientador da luminosidade sobre os insetos.

A literatura aponta também em outra direção para justificar a suscetibilidade do bambu ao ataque biológico: esse tipo de “madeira” não apresentaria barreiras suficientes a esses agentes. Dessa forma, Colli et al. (2007) fizeram tratamentos com boro e taninos com o intuito de minimizar a ação desses organismos em *Bambusa tuldoides* e concluíram que o tratamento mais eficiente nos ensaios foi aquele em que se utilizou ácido bórico 5% e tanino 1,2%.

Em algumas espécies vegetais os metabólitos secundários apresentam efeito repelente, regulador de crescimento e antinutricional sobre várias espécies de coleópteros, lepidópteros, homópteros, heterópteros e dípteros (Koul et al., 1990), não sendo necessários a aplicação ou tratamentos químicos para a conservação. No caso de bambu Mossô (*Phyllostachys pubescens*) foi relatado que compostos fenólicos apresentam efeitos protetores contra carunchos e fungos (Okahisa et al., 2006).

Embora esteja relacionada ao uso prático do bambu, a variação sazonal dos dois grupos de compostos de metabolismo ligados à atração (carboidratos) e à repulsão (compostos fenólicos) de organismos é ainda pouco estudada, sendo escassa a literatura sobre o tema.

Visando fornecer subsídios a uma melhor compreensão dos fatores en-

volvidos na conservação pós-colheita de bambus, este trabalho tem como objetivo avaliar a variação sazonal do perfil de carboidratos e compostos fenólicos totais das espécies *Bambusa multiplex* (Lour.), *B. vulgaris* (Wendl. ex Nees) e *B. vulgaris* var. *Vittata* (McClure), nas condições de cultivo de Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Material e métodos

A pesquisa foi realizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul (20° 26' S, 54° 38' W, 532 m) onde as touceiras de bambu encontravam-se já implantadas há cerca de 13 anos. O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2006), apresentando V% = 52,90 e 33,00 kg (ha MS)⁻¹ de matéria orgânica. Os colmos maduros dos bambus das espécies *Bambusa multiplex* (Lour) *B. vulgaris* (Wendl. ex Nees) e *B. vulgaris* var. *Vittata* (McClure) (figura 1) foram coletados mensalmente com três repetições, no período de setembro de 2009 a setembro de 2010.

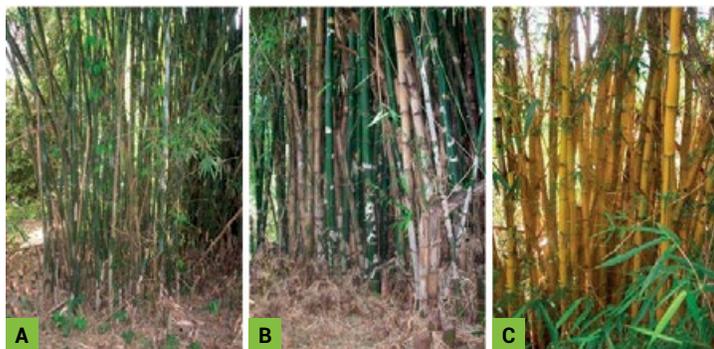


Figura 1. Espécies de bambus amostradas. (A) *Bambusa multiplex*; (B) *Bambusa vulgaris*; (C) *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS - Segundo a classificação Köppen-Geiger, o clima da região pode ser considerado como de transição entre clima subtropical úmido (Cfa), clima tropical úmido (Aw) e de savana. Os sistemas atmosféricos que atuam nessa região são tanto de origem tropical quanto extratropical. O setor mais ao norte sofre influência de sistemas que atuam na Amazônia, enquanto o setor sul (região do estudo) sofre influência de sistemas extratropicais, tais como frentes frias e linhas de instabilidade (Reboita et al., 2010).

Os dados climatológicos mensais (setembro de 2009 a setembro 2010) foram estabelecidos através de uma plataforma meteorológica de superfície automática, composta por uma unidade de memória central (*data logger*) instalada em Campo Grande, MS (figura 2), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos.

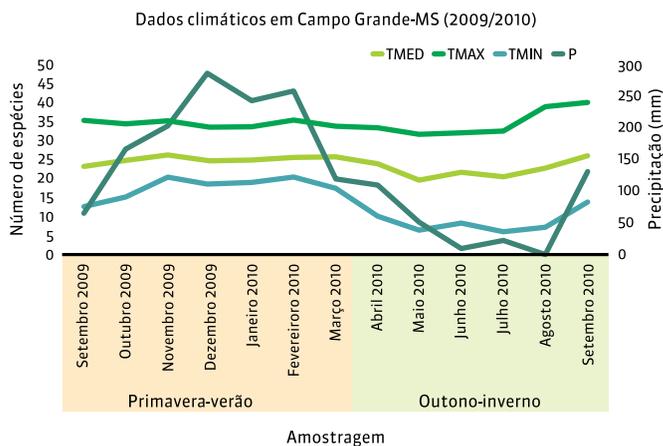


Figura 2. Condições climáticas de Campo Grande (MS), período de 2009 a 2010

Legenda: TMED temperatura média; TMAX temperatura máxima; TMIN temperatura mínima; P precipitação

COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS - De cada touceira de bambu foram coletados mensalmente três colmos maduros que foram secos em estufa de renovação e circulação de ar (Marconi® MA 037) a 60 °C até peso constante. Os colmos – separados em nó e entrenó – foram processados em moinho tipo Willey, peneirados para obter partícula de 100 mesh e usados nas análises.

ANÁLISE DE GLICOSE LIVRE - As amostras foram obtidas pela homogeneização do bambu moído em solução alcoólica a 40% durante 10 minutos. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 3500 RPM e foi utilizado o sobrenadante para determinação. O teor de glicose livre nas amostras foi determinado pela reação com kit enzimático colorimétrico (Analisa® Glicose PP), contendo enzimas glicose oxidase (GOD – EC 1.1.3.4), peroxidase (POD – EC 1.1.1.1.7) e 4-aminoantipirina (4-AAP). A leitura foi realizada em espectrocolorímetro a 640nm (Dahlquist, 1965). A curva padrão foi estabelecida utilizando-se glicose (Synth® P.A. com 99,97% de pureza), com teores variando de 1 a 40 $\mu\text{g mL}^{-1}$, obtendo-se a Equação 1.

Equação 1: $y = 7,595 \cdot x + 0,070$ com $r^2 = 0,934$, onde y é o teor de glicose em $\mu\text{g g}^{-1}$ (MS) e x é a absorbância medida.



ANÁLISE DE CARBOIDRATOS NÃO REDUTORES SOLÚVEIS - Os teores de carboidratos não redutores solúveis (CNR) foram determinados nas alíquotas dos extratos hidroalcoólicos. Os extratos foram submetidos à hidrólise ácida, empregando ácido clorídrico 0,01 M (Synth® PA). Após 24 horas, os teores foram estabelecidos por determinação de glicose liberada (conforme item anterior). Os resultados foram calculados por diferença entre os teores de glicose previamente estabelecida (glicose livre) e glicose liberada após a hidrólise. É possível estimar o teor de sacarose, principal carboidrato solúvel presente nos vegetais, através da análise de açúcares – expressos como glicose – encontrados no extrato hidroalcoólico (Souza et al., 2005).

ANÁLISE DE AMIDO - As amostras trituradas foram homogeneizadas em solução tampão pH 7,00 e o amido convertido em carboidratos simples. Para a liquefação do amido, utilizou-se amilase Termamyl® atividade declarada de 240 KNU g⁻¹ para hidrólise de ligações α-1,4 (pH 7,00 e temperatura 90 a 105 °C) e para sacarificação empregou-se a amiloglicosidase AMG® com atividade declarada de 300 AGU mL⁻¹ (pH 4,00 e temperatura entre 58 a 70 °C), conforme indicação do fabricante. Posteriormente, as amostras obtidas foram analisadas como glicose livre, conforme o item análise de glicose livre. O teor de amido foi estabelecido multiplicando o teor de glicose livre por 0,9 para conversão em amido.

TEOR DE CARBOIDRATOS TOTAIS - O teor de carboidratos totais nos colmos de bambus integrais foi estabelecido pela somatória dos valores glicose, carboidratos não redutores solúveis e amido, e expressos em µg g⁻¹ (MS).

ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS - Com as amostras moídas foram realizados extratos metanólicos (70%) para a determinação do conteúdo de fenólicos totais, conforme Swain e Hills (1959), usando o reagente colorimétrico Folin-Ciocalteu (Sigma® P.A.). Uma curva padrão foi estabelecida utilizando-se ácido gálico (Synth® P.A.) de 0,10 a 15,00 µg, calculado pela Equação 2.

Equação 2: $y = 8,528 \cdot x + 0,0252$ com $r^2 = 0,993$, onde y equivale aos teores de fenólicos expressos como ácido gálico em µg g⁻¹ (MS) e x é a absorbância medida.

ANÁLISE ESTATÍSTICA - Todas as análises foram realizadas com três repetições e os resultados expressos em microgramas por grama de amostra em massa seca [µg (g MS)⁻¹]. A partir dos resultados obtidos com distribuição normal,

foram estabelecidos a média, o desvio padrão (σ) e o coeficiente de variação (CV%). As médias foram comparadas entre si por teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$) com fatores isolados, utilizando o software Statistic 7.0 (Statsoft, 2008). Foram ajustadas equações estabelecidas a partir de correlação simples de Pearson, selecionadas pelos índices de regressão (r^2).

Resultados e discussão

As características que tornam o bambu suscetível à deterioração, ou seja, seus teores de carboidratos, são fundamentais para o crescimento de fungos e ataque de insetos (Okahisa et al., 2006).

Esses compostos metabólicos devem predominar em algumas épocas do ano, ou mesmo corresponder a fases da lua (Matoski & Rocha, 2006). Trata-se de premissas intimamente relacionadas ao efeito das condições ambientais sobre o metabolismo vegetal, que por sua vez depende da variação climática da região de cultivo.

Por essa razão a variação climática deve ser considerada como um fator que influencia o metabolismo das espécies *B. multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*.

A região em estudo (Campo Grande, Mato Grosso do Sul) apresenta dois períodos do ano com condições climáticas bem definidas, a primavera-verão e o outono-inverno (Barros & Baleros, 2012).

No período que compreendeu a amostragem e análise das espécies de bambu ocorreram as duas épocas específicas de pluviosidade e temperatura caracterizadas na literatura, conforme apresentado na figura 2. No período primavera-verão (outubro a março), observou-se na região o aumento da temperatura e do volume pluviométrico. A variação pluviométrica foi de 162,20 a 285,40 mm, enquanto que a temperatura média foi de 25,16 °C, com mínima de 18,40 °C (outubro de 2009) e máxima de 35,40 °C (fevereiro de 2010).

Nesse período é esperada uma resposta fisiológica do vegetal, caracterizada por crescimento, desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, incluindo a família Poaceae, favorecidas pelas condições de umidade e calor. Essa fase, em que ocorre intensa brotação, exige que os vegetais transloquem açúcares, principalmente sacarose (Souza et al., 2005) o que corrobora as variações de carboidratos encontradas (figura 3, ver também tabelas 1, 2 e 3).



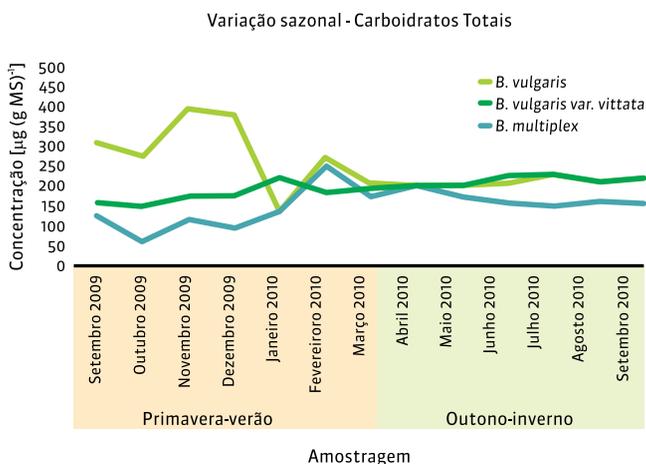


Figura 3. Variação sazonal de carboidratos totais [µg (g MS)⁻¹] em colmos (integral) de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris var. Vittata*), Campo Grande, Mato Grosso do Sul – 2009/2010

Já no período outono-inverno (abril a setembro), ocasionalmente as temperaturas foram mais elevadas do que o esperado, confirmando a observação de Barros e Balero (2012) de que nessa época as médias são pouco representativas da realidade. Nesse período a precipitação variou de 0,00 a 51,24 mm, com temperatura mínima de 5,90 °C (junho 2010) e máxima de 38,90 °C (agosto 2010). Portanto, a precipitação foi o fator com maior impacto sobre a fisiologia das plantas de bambu.

PERFIL DE GLICOSE - Os resultados da variação sazonal sobre o perfil de glicose em bambus são apresentados na tabela 1, em que é possível notar a flutuação dos teores durante o período primavera-verão, principalmente para *B. vulgaris*, que apresentou maiores teores (34,46 µg g⁻¹ MS) seguido por uma redução drástica e estabilização (11,22 µg g⁻¹ MS). Os teores mostraram-se estáveis durante o outono-inverno para as três touceiras, e não diferiram significativamente entre si ou entre os constituintes do colmo (nós e entrenós), com média de 08,10 µg g⁻¹ (MS).

Tabela 1. Variação sazonal de glicose [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)] em colmos (nó e entrenó) de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*), Campo Grande, Mato Grosso do Sul – 2009/2010

Glicose [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)]							
	Variação Sazonal	<i>Bambusa multiplex</i>		<i>Bambusa vulgaris</i>		<i>B. vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	
		Nó	Entrenó	Nó	Entrenó	Nó	Entrenó
Primavera-Verão	Set. 2009	6,07 dA	8,01 bA	34,46 aA	29,57 aA	15,93 aA	13,77 aA
	Out. 2009	0,92 eA	1,4 eA	11,13 dA	8,58 eA	15,80 aA	13,29 aA
	Nov. 2009	0,70 eA	0,57 fA	32,87 aA	31,90 aA	4,93 bA	5,02 bA
	Dez. 2009	1,19 eA	1,01 eA	22,13 bA	26,45 bA	0,79 eA	0,66 dA
	Jan. 2010	8,89 bA	10,17 aA	15,75 cA	16,15 cA	1,94 dA	3,34 cA
	Fev. 2010	9,06 aA	8,10 bA	15,53 cA	16,72 cA	4,40 cA	4,74 cA
	Mar. 2010	7,61 cA	7,44 cA	11,22 dA	12,20 dA	5,68 bA	5,63 bA
Outono-Inverno	Abr. 2010	8,52 bA	8,57 bA	12,17 dA	13,02 dA	5,04 bA	5,19 bA
	Mai. 2010	8,54 bA	8,46 bA	11,98 dA	12,32 dA	5,38 bA	5,17 bA
	Jun. 2010	6,38 dA	6,42 dA	9,15 eA	9,37 dA	5,04 bA	5,19 bA
	Jul. 2010	6,68 dA	6,59 dA	13,48 cA	13,81 eA	4,26 cA	4,73 cA
	Ago. 2010	7,2 cA	7,16 cA	11,54 dA	11,83 dA	4,89 cA	5,03 bA
	Set. 2010	6,75 dA	6,87 dA	11,39 dA	12,82 dA	4,73 cA	4,88 cA
CV%		50,75	50,50	50,91	46,61	75,31	61,44

Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferença entre o período amostrado, e letras maiúsculas para o constituinte do colmo dentro da mesma espécie, ambos pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

A grande flutuação dos teores de glicose ocorrida no período primavera-verão pode estar relacionada ao aumento da precipitação, que se refletiu no metabolismo fornecendo energia para o crescimento.

O período outo-inverno, quando as espécies iniciam a estação de repouso vegetativo, caracterizou-se por uma menor flutuação dos teores dos carboidratos, sem que fosse possível delimitar diferenças significativas entre eles.

PERFIL DE AMIDO - As espécies *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata* apresentaram estabilidade do perfil de teor de amido durante todo o período de amostragem, tanto para o nó quanto para o entrenó. Já a espécie *B. multiplex* diferiu por apresentar teores mais elevados de amido no período primavera-verão, seguido por acentuada redução no outono-inverno (tabela 2).

Tabela 2. Variação sazonal de amido [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)] em colmos (nó e entrenó) de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*), Campo Grande, Mato Grosso do Sul – 2009/2010

Amido [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)]							
	Variação Sazonal	<i>Bambusa multiplex</i>		<i>Bambusa vulgaris</i>		<i>B. vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	
		Nó	Entrenó	Nó	Entrenó	Nó	Entrenó
Primavera-Verão	Set. 2009	20,10 aA	7,60 fB	23,00 dA	10,50 eB	30,00 cA	10,90 dB
	Out. 2009	8,10 eB	38,90 aA	23,60 dA	11,90 eB	29,50 cA	19,00 bB
	Nov. 2009	15,00 cA	17,10 cA	43,90 cA	45,20 aA	95,50 aA	9,90 eB
	Dez. 2009	18,60 aA	20,40 bA	68,30 aA	35,60 dB	73,30 bA	10,10 dB
	Jan. 2010	11,30 dA	12,30 eA	50,40 bA	44,40 aB	96,60 aA	11,30 dB
	Fev. 2010	15,50 cA	15,60 dA	54,30 bA	40,00 cA	89,60 aA	23,70 aB
	Mar. 2010	18,70 aA	14,70 dB	52,30 bA	48,10 aA	11,20 gA	13,20 cA
Outono-Inverno	Abr. 2010	17,10 bA	15,20 dA	58,80 bA	44,20 aB	24,70 dA	18,30 bB
	Mai. 2010	17,50 bA	14,50 dA	55,10 bA	46,20 aB	17,30 fA	15,20 cA
	Jun. 2010	20,00 aA	18,10 cA	56,90 bA	44,10 aB	20,50 eA	14,20 cB
	Jul. 2010	19,50 aA	18,70 cA	53,30 bA	40,50 bB	17,50 fA	15,50 cA
	Ago. 2010	18,98 aA	17,07 cA	47,30 cA	43,59 bA	18,00 fA	14,95 cA
	Set. 2010	19,49 aA	17,96 cA	52,50 bA	42,74 bB	18,66 fA	14,86 cA
CV%		21,49	40,94	26,17	32,42	80,18	26,79

Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferença entre o período amostrado, e letras maiúsculas para o constituinte do colmo dentro da mesma espécie, ambos pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Apesar do grande impacto das chuvas que marcaram o início da fase de brotação, não foi constatada resposta dos bambus ao estresse fisiológico de baixa temperatura (ver tabelas 1, 2 e 3), em razão da temperatura amena. Eram, entretanto, esperadas variações do teor de amido, uma vez que o carboidrato está ligado ao metabolismo de reserva das plantas. A espécie *B. multiplex* apresentou perfil diferenciado das demais, com redução significativa do teor de amido do período primavera-verão para o período outono-inverno.

A maior estabilidade observada no período outono-inverno pode estar relacionada à manutenção do balanço energético (Souza et al., 2005). Sabe-se que, quando em regiões tropicais, as espécies tipo C₃, que incluem os bambus, apresentam acúmulo de amido nos cloroplastos foliares, enquanto que nas regiões temperadas (baixa temperatura) ocorre acúmulo de outros carboidratos simples nos vacúolos e tecidos de reserva (Chatterton et al., 1972; Chatterton et al., 1991; Pollock et al., 1995).

CARBOIDRATOS SOLÚVEIS NÃO REDUTORES - No período primavera-verão nenhum dos bambus apresentou perfil de teor diferente para os constituintes do colmo (nó e entrenó). A espécie *B. vulgaris* demonstrou redução acentuada nos teores desses carboidratos, seguida por um aumento e estabilização. A espécie *B. vulgaris* var. *Vittata* apresentou teores estáveis durante todo o período amostrado, enquanto que a espécie *B. multiplex* caracterizou-se por baixos teores no período primavera-verão, seguido por aumento significativo no outono-inverno (tabela 3).

Tabela 3. Variação sazonal de carboidratos não redutores solúveis [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)] em colmos (nó e entrenó) de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*), Campo Grande, Mato Grosso do Sul – 2009/2010

Carboidratos Não redutores [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)]							
Variação Sazonal		<i>Bambusa multiplex</i>		<i>Bambusa vulgaris</i>		<i>B. vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	
		Nó	Entrenó	Nó	Entrenó	Nó	Entrenó
Primavera-Verão	Set. 2009	123,39 bA	90,54 cB	42,49 cA	44,86 cA	33,22 cA	32,22 dA
	Out. 2009	115,11 bA	87,61 cB	38,51 dA	41,69 cA	7,33 dA	6,44 eA
	Nov. 2009	148,78 aA	145,32 aA	34,42 dA	38,99 dA	4,72 dA	5,22 eA
	Dez. 2009	146,17 aA	140,97 aA	34,34 dA	39,10 dA	3,61 dA	6,06 eA
	Jan. 2010	34,06 fB	45,28 fA	57,10 aA	58,91 aA	5,39 dA	5,67 eA
	Fev. 2010	103,10 cA	101,78 bA	37,62 dA	42,19 cA	50,96 bB	60,46 bA
	Mar. 2010	69,97 eB	75,21 eA	37,83 dA	42,40 cA	59,27 aB	79,08 aA
Outono-Inverno	Abr. 2010	67,72 eA	72,37 eA	42,46 cA	45,05 cA	61,68 aB	76,57 aA
	Mai. 2010	69,01 eA	73,8 eA	46,99 cA	47,77 cA	55,50 bA	65,71 bA
	Jun. 2010	71,35 dA	75,99 dA	53,65 bA	54,13 bA	50,00 bA	58,98 cA
	Jul. 2010	79,12 dA	82,14 cA	59,98 aA	60,13 aA	49,63 cB	55,33 cA
	Ago. 2010	73,16 dA	77,31 dA	53,54 bA	54,01 bA	51,71 bB	60,01 bA
	Set. 2010	74,54 dA	78,48 dA	55,72 bA	56,09 bA	50,45 bB	58,11 bA
CV%		37,75	31,23	20,12	15,75	62,19	65,20

Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferença entre o período amostrado, e letras maiúsculas para o constituinte do colmo dentro da mesma espécie, ambos pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A sacarose, encontrada universalmente em vegetais e geralmente em baixos teores, corresponde a um carboidrato solúvel não redutor e é o principal açúcar de plantas vasculares. Devido à sua natureza não redutora, esse açúcar pode ser translocado e armazenado nos vacúolos celulares, não sendo metabolizado enquanto não for necessário (Souza et al., 2005). Os teores de carboidratos não redutores solúveis permaneceram estáveis para os três bambus no período de outono-inverno, tanto para o nó quanto para o entrenó. Cada espécie apresentou valores diferentes para os constituintes do colmo.

Os resultados obtidos inferem que a quantidade de açúcar e amido em bambu depende da estação em que ele é cortado. Nota-se um aumento de teor no período quente e úmido, o que potencialmente pode estar relacionado à disponibilização de energia para o crescimento vegetativo e síntese de outros metabólitos. Entretanto, essa disponibilização foi realizada apenas no teor de amido, que apresentou aumento nesse período.

Nas condições em que o experimento foi realizado, não foi detectado aumento significativo no teor de açúcares simples (glicose) ou dos carboidratos solúveis não redutores. Somente o amido apresentou taxas maiores (ver tabela 2).

A comparação com valores citados na literatura é dificultada em razão da variabilidade encontrada, o que faz com que mesmo os autores sejam divergentes sobre os valores citados (Ninomiya & Kotani, 2002).

Se os carboidratos considerados atrativos para a degradação biológica variam de acordo com as condições climáticas, é preciso estabelecer a variação sazonal de compostos de metabolismo secundário, principalmente tanino, considerado uma substância inibidora de fungos e insetos.

PERFIL DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS - A variação sazonal de compostos fenólicos totais mostrou um aumento significativo no período primavera-verão.

A análise dos dados mostrou ser possível estabelecer perfis sazonais semelhantes de teores de compostos fenólicos totais para os bambus avaliados. Esse perfil caracterizou-se por baixos teores no início do período primavera-verão (máximo de $6,30 \mu\text{g g}^{-1}$ MS), com aumento no período de crescimento vegetativo, chegando até $14 \text{ g } \mu\text{g g}^{-1}$ (MS) em fevereiro de 2010. Na estação outono-inverno foi observada acentuada redução, com valores abaixo de $5,00 \mu\text{g g}^{-1}$ MS (tabela 4).

Tabela 4. Variação sazonal de compostos fenólicos totais [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)] em colmos (nó e entrenó) de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*). Campo Grande, Mato Grosso do Sul – 2009/2010

Compostos Fenólicos Totais [$\mu\text{g g}^{-1}$ (MS)]							
Variação Sazonal		<i>Bambusa multiplex</i>		<i>Bambusa vulgaris</i>		<i>B. vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	
		Nó	Entrenó	Nó	Entrenó	Nó	Entrenó
Primavera-Verão	Set. 2009	3,79 cA	1,29 dA	0,17 dB	6,41 bA	1,23 dA	1,46 dA
	Out. 2009	2,08 cA	1,52 dA	1,29 dA	2,94 cA	1,01 dA	2,37 dA
	Nov. 2009	1,35dA	2,97 cA	1,77 dB	4,08 bA	2,60 cA	0,67 eA
	Dez. 2009	7,66 bA	6,00 bA	6,35 bA	4,93 bA	6,30 bA	5,50 bA
	Jan. 2010	11,10 aA	9,82 aA	13,46 aA	12,60 aA	6,00 bA	7,00 bA
	Fev. 2010	13,50 aA	12,40 aA	14,10 aA	13,85 aA	12,70aA	12,30 aA
	Mar. 2010	12,00 aA	2,48 cB	3,68 cA	4,93 bA	1,74 dA	8,00 bA
Outono-Inverno	Abr. 2010	3,23 bA	3,96 cA	5,28 bA	3,68 cA	2,77 cA	4,36 bA
	Mai. 2010	1,06 dA	1,91 dA	2,14 cA	3,79 cA	2,26 cA	2,88 dA
	Jun. 2010	1,29 dA	1,69 dA	2,03 cA	3,45 cA	2,20 cA	3,45 cA
	Jul. 2010	1,10 dA	1,50 dA	2,01 cA	3,30 cA	2,20 cA	3,00 cA
	Ago. 2010	1,86 dA	2,52 cA	3,15 cA	3,64 cA	2,41 cA	3,56 cA
	Set. 2010	1,18 dA	1,80 dA	2,09 cA	3,62 cA	2,23 cA	3,17 cA
CV%		98,86	91,54	100,89	65,06	90,89	70,45

Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferença entre o período amostrado, e letras maiúsculas para o constituinte do colmo dentro da mesma espécie, ambos pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A comparação das tabelas 2 e 4 parece indicar uma complementação entre fenólicos e glicose. No mês de fevereiro encontrou-se o maior teor de fenólicos nos três bambus, tanto na porção nó quanto na entrenó, ao mesmo tempo em que ocorreu redução do teor de glicose, ainda que não obrigatoriamente com o valor mais baixo.

Também no período primavera-verão, a literatura cita maior incidência de carunchos do bambu (Azzini et al., 1978). É possível que os fenólicos totais, cujo teor é maior no período citado, atuem como protetores naturais contra-ataque dos coleópteros, conforme proposto por Okahisa et al. (2006). Nesse caso, o papel dos carboidratos como atrativo dos insetos teria de ser revisto para valorizar a possibilidade de efeito de repulsão dos fenólicos.

Azzini et al. (1998) aconselham a colheita de colmos de bambu no inverno (período de repouso vegetativo), visando evitar o ataque do caruncho. Caso a presença de carboidratos por si só determinasse menor resistência pós-colheita, o corte no período de inverno deveria proporcionar colmos mais resistentes ao ataque de pragas, portanto com menores teores de carboidratos, principalmente amido, o que não ocorreu nas condições em que as análises foram realizadas.

Os resultados obtidos permitiram estabelecer perfis para as espécies (*B. vulgaris*, *B. multiplex* e *B. vulgaris* var. *Vittata*) nos dois períodos característicos do clima do município de Campo Grande (MS) e sua influência sobre a variação sazonal de carboidratos e compostos fenólicos totais, tanto para a região dos nós como dos entrenós dos colmos.

A análise em separado de nó e entrenó foi realizada para esclarecer a observação de Beeson e Bhatia (1937) e Mathur (1961), que relatam que geralmente ocorre uma variação considerável no teor de amido de nós e entrenós dentro do mesmo colmo e entre colmos diferentes em uma mesma espécie. Os resultados obtidos não confirmam esse relato para a região analisada. Os teores de carboidratos não foram diferentes em relação aos constituintes do colmo, assim como o perfil de compostos fenólicos totais.

O conjunto dos resultados permite confirmar que o corte de colmos maduros de bambu na região poderá proporcionar diferentes perfis de acúmulo de carboidratos e fenólicos. O corte na época de outono-inverno proporcionaria colmos com maiores teores de carboidratos e menores teores de compostos fenólicos totais, o que caracteriza materiais com maior propensão ao ataque de organismos xilófagos e caruncho do bambu.

Conclusões

1. Os perfis de glicose foram semelhantes para *Bambusa vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*, apresentando-se estáveis durante a avaliação. Já *B. multiplex* apresentou diferença em função dos períodos, com maiores concentrações no período primavera-verão. Não houve diferença entre as concentrações de glicose dos nós e entrenós.
2. As concentrações de amido foram diferentes nas espécies, com maior valor para a espécie *B. vulgaris* var. *Vittata*. Para as espécies *B. multiplex* e *B. vulgaris* houve pequena variação da concentração no período avaliado. Além disso, os perfis apresentaram diferença em função dos constituintes do colmo com maiores teores no nó.

3. Os perfis de carboidratos não redutores foram semelhantes para as três espécies e para os constituintes do colmo. Apenas *B. vulgaris* apresentou uma elevação na concentração em um período (novembro de 2009), seguida de redução e estabilidade durante o período avaliado.

4. As três espécies de bambu apresentaram o mesmo perfil de compostos fenólicos, com um acentuado metabolismo e acúmulo no período de primavera-verão, seguido por redução e estabilidade no período outono-inverno.

5. Considerando-se as condições em que o experimento foi realizado, pode-se afirmar que o período primavera-verão é o mais indicado para a colheita de colmos maduros, tendo em vista que os bambus cortados nesse período apresentaram menores teores de carboidratos e maiores teores de compostos fenólicos totais, cenário que potencialmente garantirá uma melhor conservação pós-colheita.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa, Projeto Desenvolvimento sustentável da região Centro-oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu, CNPq Processo 574 516/2008-5.

Referências

- AZZINI, A.; CLARAMELLO, D.; MARTINS, F. P.; SCARANARI, H. J. Tratamento preservativo de bambus. **Bragantia**, v.37, p.55-57, março, 1978.
- AZZINI, A.; ARRUDA, M. C. Q.; TOMAZELLO-FILHO, M.; SALGADO, A. L. B.; CIARAMELLO, D. Variações dos teores de fibras celulósicas e amido no colmo de bambu. **Bragantia**, v.46, p.14-145, julho, 1987.
- AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; ERISMANN, N. M. Desfibramento de cavacos laminados de *Bambusa vulgaris* Schrad, visando à extração de amido. **Bragantia**, v.57, p.41-44, março, 1998.
- BARROS, J. R.; BALERO, J. C. S. A influência do clima e do tempo do Centro-Oeste do Brasil nas condições de voo na região. **Revista Geografia**, v.1, p.25-49, julho, 2012.
- BEESON, C. F. C.; BHATIA, B. M. On the biology of Bostrychidae (Coleopt.). **Indian Entomology**, v.2, p.223-251, março, 1937.
- CHATTERTON, N. J.; CARLSON, G. E.; HUNGERFORD, W. E.; LEE, D. R. Effect of tillering and cool nights on photosynthesis and chloroplast starch in pangola. **Crop Science**, v.12, p.206-208, setembro, 1972.



- CHATTERTON, N. J.; THORNLEY, W. R.; HARRISON, P. A.; BENNETT, J. H. DP-3 and DP-4 oligosaccharides in temperate and tropical grass foliage grown under cool temperatures. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.29, p.367-372, setembro, 1991.
- COLLI, A.; NASCIMENTO, A. M. O.; XAVIER, L. M.; RUBIM, I. B. Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino, do *Bambusa tuldoidea* (Munro). **Revista Floresta e Ambiente**, v.14, p.56-64, janeiro, 2007.
- DAHLQUIST, A. Determination of maltase and isomaltase activities with a glucose oxidase reagent. **Biochemistry Journal**, v.90, p.547-551, setembro, 1961.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- KOUL, O.; ISMAN, M. B.; KETKAR, C.M. Properties and uses of neem *Azadirachta indica*. **Journal of Botany**, v.68, p.1-11, dezembro, 1990.
- MATHUR, R. N. Effect of clump-curing of bamboos and susceptibility to powder-post beetle attack. **Entomology**, v.23, p.11-15, março, 1961.
- MATOSKI, S. L. S.; ROCHA, M. P. Influência do fotoperíodo no ataque de *Dinoderus minutus* Fabricius (Coleoptera: Bostrichidae) em lâminas torneadas de espécies tropicais. **Revista Floresta**, v.36, p.385-396, setembro, 2006.
- MOHMOD, A. L.; KHOO, K. C.; ALI, N. M. Carbohydrates in some natural stand bamboos. **Journal of Tropical Forest Science**, v.4, p.310-316, novembro, 1991.
- NASCIMENTO, A. M.; LUCIA, R. M. D. Estrutura do colmo do bamboo gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro). **Floresta e Ambiente**, v.2, p.9-18, julho, 1995.
- NINOMIYA, S.; KOTANI, K. Feeding test by *Dinoderus minutus* Fabricius on acetylated bamboo. **Wood Preservation**, v.28, p.135-143, março, 2002.
- OKAHISA, Y.; YOSHIMURA, T.; IMAMURA, Y. Seasonal and height-dependent fluctuation of starch and free glucose contents in moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) and its relation to attack by termites and decay fungi. **Journal Wood Science**, v.52, p.445-451, março, 2006.
- POLLOCK, C. J.; WINTERS, A. L.; GALLAGHER, J.; CAIRNS, A. J. Sucrose and the regulation of fructan metabolism in leaves of temperate gramineae. Sucrose Metabolism, Biochemistry, **Physiology and Molecular Biology**, v.14, p.167-178, dezembro, 1995.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, p.185-204, junho, 2010.
- SOUZA, A.; MORAES, M. G.; RIBEIRO, R. C. L. F. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botânica Brasileira**, v.19, p.81-90, janeiro, 2005.
- STATSOFT INC. Statistica data analysis software system Version 7.0. Tulsa: Statsoft Inc., 2008.
- SWAIN, T.; HILLS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of Science Food Agriculture**, v.10, p.63-68, maio, 1959.
- VIADO, G. B.; YLAGAN, M. M. Starch, total sugar and moisture contents of *Bambusa vulgaris* Schrad. In relation to infestation by *Dinoderus minutus* (Fabr.) **The Philippine Agriculturist**, v.87, p.215-222, março, 1958.



Produção de mudas de bambus por estaquia de hastes secundárias e avaliação do estoque de carboidratos

Vitor Hugo dos Santos Brito⁽¹⁾, Fabricio Laranjeira Amorim⁽¹⁾, Helma Jeller⁽¹⁾, Ismael Plácido Tomielis⁽¹⁾, Denilson de Oliveira Guilherme⁽¹⁾ e Marney Pascoli Cereda⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Tecnologia e Estudo do Agronegócio (CeTeAgro), Universidade Católica Dom Bosco. Av. Tamararé, 8000, Jardim Seminário, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mails: britovhs@gmail.com, fabricio_amorimbr@hotmail.com, helma@ucdb.br, ismael.tomielis@gmail.com, denilsond@gmail.com e cereda@ucdb.br

Resumo – A quantidade e o comprimento de enraizamento de estacas de ramos secundários de *Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata* foram analisados como efeitos do método de plantio e estoque de carboidratos. O experimento foi instalado em casa de vegetação com 70% de sombreamento, irrigação de 120 mL dia⁻¹ e temperatura média de 26 °C. Foi usado substrato à base de fibra de coco, terra preta e areia (1:1:1). Estacas de 20 cm de comprimento e 0,5 a 1,0 cm de diâmetro com e sem dois nós laterais foram plantadas na posição vertical em densidade de 12 e 20 estacas. As estacas também foram plantadas na horizontal com sobreposição do substrato na densidade de 10 estacas. As avaliações biométricas foram realizadas aos 90 dias de cultivo. O enraizamento foi influenciado pela posição de plantio das estacas e pela espécie, mas não houve influência da presença de folhas ou do teor de carboidratos na emissão do sistema radicular. A espécie *B. vulgaris* apresentou enraizamento em todos os tratamentos, enquanto que *B. multiplex* não foi observado desenvolvimento em nenhum tratamento. A espécie *B. vulgaris* var. *Vittata* apresentou desenvolveu o maior número de raízes (123) e o maior comprimento médio (13,70 cm) no tratamento horizontal com sobreposição de substrato. Os resultados indicam que, além do estoque inicial de carboidratos, outros fatores interferem no enraizamento das estacas de bambus.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: ENRAIZAMENTO, ESTAQUIA, PLANTIO, MANEJO, POTENCIAL.



Production of bamboo seedlings through cuttings of side rods and assessment of the carbohydrates inventory

Abstract – *The amount and length of secondary branches cuttings rooting of Bambusa multiplex, B. vulgaris and B. vulgaris var. Vittata were analyzed as effects of the method of planting and supply of carbohydrates. The experiment was conducted in a greenhouse with 70% shading, irrigation of 120 mL day⁻¹ and an average temperature of 26 ° C. A substrate based on coconut fiber, black soil and sand (1: 1: 1) was used. Stakes 20 cm long and 0.5 to 1.0 cm wide, with and without two lateral buds, were planted in upright position with 12 to 20 cuttings density. The stakes were also planted horizontally, overlapping the substrate with 10 cuttings density. The biometric evaluations were performed at 90 days of cultivation. Rooting was influenced by stakes position and species, but there was no influence of the presence of leaves or the carbohydrate content in the radicular system. The species B. vulgaris showed rooting in all treatments while the B. multiplex species did not root at all. The species B. vulgaris var. Vittata had the largest number of roots (123) and greater average length (13.70 cm) in the horizontal position with overlapping substrate. The results indicate that other factors, besides carbohydrates, interfere in the rooting of the bamboo cuttings.*

INDEX TERMS: ROOTING, CUTTINGS, PLANTING, MANAGEMENT, POTENTIAL.

Introdução

O bambu tem sido visto como um recurso natural renovável cujas características tecnológicas o tornam um material capaz de fazer frente às demandas florestais e industriais. Inserida em um modelo de desenvolvimento sustentável com baixo custo de produção, essa espécie apresenta grande importância econômica, social e ambiental, (Kibwage et al., 2008; Madhab, 2003), necessitando assim de estudos mais aprofundados sobre as características de cultivo.

Diversas espécies de bambu têm sido utilizadas na produção de móveis e artesanatos, extração de celulose e como matéria-prima na construção civil, devido às suas características de durabilidade, resistência, facilidade de manuseio, impermeabilidade e baixa combustão (Hidalgo-López, 2003). O bambu destaca-se ainda na alimentação humana, sendo muito difundido na culinária asiática na forma de brotos (Chongtham et al., 2011).



No Brasil, a dificuldade de obtenção de mudas – essencial ao sucesso de qualquer programa de desenvolvimento florestal (Xavier et al., 2003) – limita a produção de bambu, sobretudo a de sementes, devido ao baixo índice de florescimento e de fecundação (Salgado et al., 1992). Logo, o uso de outros métodos de propagação torna-se essencial.

Devido aos problemas enfrentados para obter mudas de bambu por meio da propagação sexual, a propagação vegetativa apresenta-se como uma alternativa importante, especialmente por possibilitar a reprodução de clones de alta produtividade.

Dentre os métodos existentes de propagação vegetativa para produção massal de bambu destacam-se o seccionamento do rizoma – indicado para espécies de bambu alastrantes e o para bambus entouceirantes – e o uso de colmos com uma ou mais gemas. Em ambos os casos os níveis de enraizamento são variáveis em função da espécie, estado nutricional e reguladores fisiológicos (Singh et al., 2004; Lima-Neto et al., 2009).

O estado nutricional das plantas matrizes e das estacas no momento do preparo é determinado pela quantidade de carboidratos, entre outros compostos metabólicos. Todos esses metabolitos são fundamentais à iniciação radicial e influenciam na velocidade do processo. O efeito sobre a formação de raízes é atribuído ao balanço fisiológico, além da síntese, acúmulo e consumo dos carboidratos (Malavasi, 1994; Carvalho & Silva, 2012).

Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, os carboidratos desempenham diversos processos vitais, sendo o principal a geração de energia para a germinação de sementes, brotação e senescência. Além disso, as plantas apresentam respostas fisiológicas a estresses bióticos e abióticos, resultando em variações nas concentrações de carboidratos (Léon & Shenn, 2003).

A sacarose e o amido são os principais carboidratos de reserva do bambu e, por hidrólise enzimática, fornecem energia para o espessamento das paredes celulares e crescimento vegetativo (Azzini et al., 1979; Pollock, 1986).

Além do efeito de fitorreguladores sobre o desenvolvimento das plantas, os carboidratos não estruturais presentes nos tecidos também são utilizados nos processos biológicos. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o enraizamento de estacas das espécies *Bambusa vulgaris* (Wendl. ex Nees), *B. multiplex* (Lour.) e *B. vulgaris* var. *Vittata* (McClure) em função do estoque de carboidratos e posição de plantio das estacas, tendo em vista a escassez de literatura que relacione o estoque inicial de carboidratos em estacas de bambu para formação de mudas.

Material e métodos

Foram coletados três colmos das espécies *Bambusa multiplex* (Lour.), *Bambusa vulgaris* (Wendl. ex Nees) e da variedade *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* (McClure). O experimento foi conduzido em casa de vegetação em agosto de 2010 com duração de 90 dias. Foram retirados os ramos secundários dos colmos para a confecção das estacas e uma amostra de 40 g de cada material foi composta para determinar os carboidratos.

As estacas dos ramos secundários foram cortadas com cerca de 20 cm de comprimento, e seu diâmetro variou de 0,50 a 1,00 cm, com no mínimo dois nós laterais por seguimento utilizado.

PREPARO DAS AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DE CARBOIDRATOS - Para a realização das análises de carboidratos, foram desidratadas três amostras de cada espécie e variedade em estufa de renovação e circulação de ar (Marconi® MA 037), a 60 °C, até a massa constante. Em seguida os ramos secundários foram moídos ao tamanho de partícula de 100 mesh, utilizando-se moinheiro tipo “Willey” (Okahisa et al., 2006). Após este procedimento, as amostras foram condicionadas em frascos plásticos a temperatura ambiente (± 24 °C).

DETERMINAÇÃO DE GLICOSE LIVRE - Para a análise de glicose livre, 3 g de amostras foram homogeneizadas em solução alcoólica a 40% durante 10 minutos (Anvisa, 2005). Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 3500 RPM e o sobrenadante utilizado para determinação. O teor de glicose livre nas amostras foi determinado pela reação com kit enzimático colorimétrico (Analisa® Glicose PP) contendo as enzimas glicose oxidase (GOD – EC 1.1.3.4), peroxidase (POD – EC 1.11.1.7) e 4-aminoantipirina (4-AAP).

A leitura foi realizada em espectrocolorímetro a 640 nm (Dahlquist, 1965). A curva padrão foi estabelecida com glicose (Synth® P.A. com 99,97% de pureza) e permitiu obter a equação $Y = 7,595 \cdot X + 0,070$ com $r^2 = 0,934$, onde Y corresponde à concentração de glicose e X à absorbância obtida, com resultados expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$. Os testes foram realizados com cinco repetições.

DETERMINAÇÃO DE CARBOIDRATOS NÃO REDUTORES - Os teores de açúcares não redutores solúveis (CNR) foram determinados nas alíquotas dos extratos hidroalcoólicos. Os extratos foram submetidos à hidrólise ácida, empregando ácido clorídrico 0,01M (Synth® PA) (Brasil, 2005). Após 24 horas, as concentrações foram estabelecidas por determinação de glicose liberada (ver item Determinação de glicose livre). Os resultados foram calculados por di-

ferença entre os teores de glicose previamente estabelecida (glicose livre) e glicose liberada após a hidrólise, presentes nos extratos hidroalcoólicos. Graças a isso, foi possível estimar o teor de carboidratos, sobretudo sacarose – principal carboidrato presente nos vegetais (Souza et al., 2005). Os testes foram realizados com cinco repetições.

DETERMINAÇÃO DE AMIDO - As amostras trituradas foram homogeneizadas em solução tampão pH 7,00, e o amido foi convertido a carboidratos simples. Para a liquefação do amido, utilizou-se amilase Termamyl® atividade com 240 KNU g⁻¹ para hidrólise de ligações α -1,4 (pH 7,00 e temperatura 90 a 105 °C). Para a sacarificação empregou-se a amiloglicosidase AMG®, com atividade declarada de 300 AGU mL⁻¹ (pH 4,00 e temperatura entre 58 a 70 °C), conforme indicação do fabricante. Posteriormente, as amostras obtidas foram analisadas conforme a determinação de glicose (ver determinação de glicose livre). O teor de amido foi estabelecido pelo mesmo método para determinação de glicose livre e os valores obtidos foram multiplicados por 0,9 para conversão em amido conforme Demiate et al. (2002). Os testes foram realizados com cinco repetições.

ANÁLISE ESTATÍSTICA - O experimento foi conduzido sob delineamento de blocos ao acaso com cinco tratamentos e três repetições. Cada parcela era constituída por 12 estacas.

Os tratamentos consistiram no cultivo de estacas de bambu (com ou sem a presença de folhas) e no posicionamento das estacas no substrato na posição vertical e horizontal (figura 1), conforme mencionado a seguir: cultivo das estacas na posição vertical, com folhas e densidade de 12 estacas; cultivo das estacas na posição vertical com folhas e densidade de 20 estacas; cultivo das estacas na posição vertical sem folhas e densidade de 12 estacas; cultivo das estacas na posição vertical sem folhas e densidade de 20 estacas (com substrato sobreposto às estacas); e cultivo das estacas na posição horizontal sem folhas e densidade de 10 estacas (com substrato sobreposto às estacas).





Figura 1. Exemplos dos procedimentos de plantio das estacas de bambus adotado. (A) Plantio vertical com folhas; (B) Plantio vertical sem folhas; (C) Plantio horizontal com sobreposição das estacas com substrato

As estacas foram semeadas em bandejas plásticas de (30,00 x 20,00 x 6,00 cm) preenchidas com substrato florestal à base de fibra de coco, terra preta e areia na proporção 1:1:1.

Posteriormente ao plantio, as bandejas e jardineiras foram colocadas em casa de vegetação coberta por sombrite 70%. A irrigação foi realizada por microaspersão três vezes ao dia (6:00, 12:00 e às 18:00 h), totalizando 120 mL dia⁻¹. Ao longo dos meses de condução do experimento, a temperatura média ficou em torno de 26 ± 2 °C.

A avaliação foi realizada aos 90 dias de cultivo e os parâmetros biométricos avaliados foram o número (n) de raízes emitidas e o comprimento (cm) das raízes.

As concentrações de carboidratos e os parâmetros biométricos foram submetidos à análise de variância por comparação de médias, utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% (Statsoft, 2008).

Resultados e discussão

Os métodos de cultivo de estacas de ramos secundários proporcionaram resultados que diferiram em função da espécie. Não foi constatada influência da presença de folhas na emissão do sistema radicular ou do conteúdo de carboidratos presentes nas estacas. Esses resultados indicam que outros fatores, além dos teores de açúcares, influenciam o enraizamento das estacas na propagação assexuada.

Na análise de comparação entre os tratamentos, o tratamento com estacas na posição horizontal e sobreposição do substrato foi mais eficiente no enraizamento de *B. vulgaris* var. *Vittata*, com cerca de 90% de viabilidade, com média de emissão de 123,00 raízes e média de 13,70 cm de comprimento (tabela 1).

Tabela 1. Comprimento médio (cm) e número médio (n) de raízes emitidas em estacas de ramos secundários de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*) em função dos métodos de plantio

Tratamentos				Raízes emitidas
Posição de cultivo	Presença de folhas	Densidade (n)	Comprimento (cm)	Número (n)
<i>Bambusa multiplex</i>				
Vertical	Sim	12	0,00 aD	0,00 aD
Vertical	Não	20	0,00 aD	0,00 aD
Vertical	Sim	12	0,00 aD	0,00 aD
Vertical	Não	20	0,00 aD	0,00 aD
Horizontal	Não	10	0,00 aD	0,00 aD
<i>Bambusa vulgaris</i>				
Vertical	Sim	12	6,70 aB	6,00 aB
Vertical	Não	20	4,40 cC	4,00 cB
Vertical	Sim	12	5,30 bB	5,00 bB
Vertical	Não	20	3,80 dC	4,00 cB
Horizontal	Não	10	4,60 cC	5,00 bB
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>				
Vertical	Sim	12	0,00 bD	0,00 bD
Vertical	Não	20	0,00 bD	0,00 bD
Vertical	Sim	12	0,00 bD	0,00 bD
Vertical	Não	20	0,00 bD	0,00 bD
Horizontal	Não	10	13,70 aA	123,00 aA

Médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro da mesma coluna não apresentam diferença entre as espécies; letras minúsculas entre os tratamentos dentro da mesma espécie, ambos pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A espécie *B. vulgaris* teve emissão de raízes (100%) em todos os tratamentos. Raízes de comprimentos maiores foram obtidas no tratamento com densidade de 12 estacas com folhas (6,70 cm), seguido da densidade de 12 estacas sem folhas (5,30).

Os tratamentos com e sem folhas em densidade de 20 estacas não apresentaram diferença significativa quanto ao número de raízes, porém se diferenciaram no comprimento. Para as espécies que apresentaram desenvolvimento do sistema radicular, não houve diferença significativa quanto ao percentual.

Em estacas semilenhosas e/ou de consistência mais herbácea, a presença de folhas favorece o enraizamento, provavelmente devido à produção de cofatores – como reguladores de crescimento – nas folhas que influenciam o enraizamento (Fachinello et al., 2005).

Na produção de mudas de estacas de *Bambusa vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*, submetidas ao tratamento com ácido indol-3-acético, a 0,25 e 5,0% e, posteriormente, cultivadas em casa de vegetação usando substrato de areia lavada (Gasparetto et al., 2013), não foram encontradas diferenças quanto ao



crescimento caulinar, comprimento de raízes e número de folhas para ambas as espécies nos dois tratamentos.

A sacarose representa o principal açúcar de plantas vasculares e geralmente é encontrada em altas concentrações. Devido à sua natureza não redutora, esse açúcar pode ser translocado e armazenado nos vacúolos celulares e metabolizado quando necessário (Souza et al., 2005), como para o arranque inicial de crescimento e desenvolvimento vegetativo.

A tabela 2 mostra que foram encontrados maiores teores de glicose livre e carboidratos não redutores em *B. vulgaris*, resultando numa maior concentração de carboidratos totais ($9,23 \mu\text{g g}^{-1}$), o que potencialmente pode estar relacionado com a emissão de raízes em todos os tratamentos.

Tabela 2. Teor de carboidratos em estacas de ramos secundários de bambus (*Bambusa multiplex*, *B. vulgaris*, *B. vulgaris* var. *Vittata*)

Bambus	Glicose livre	Não-Redutores	Amido	Carboidratos Totais
$\mu\text{g g}^{-1}$				
<i>Bambusa multiplex</i>	0,14 b	5,33 b	0,67 b	6,14 b
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,47 a	8,33 a	0,43 c	9,23 a
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	0,12 b	3,67 c	0,87 a	4,66 c
CV (%)	80,78	40,89	33,55	34,92

Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna não apresentam diferença entre as espécies pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Ainda assim, o teor de carboidratos presente na espécie *B. multiplex* seria potencialmente suficiente para inicializar o processo de indução do sistema radicular. Entretanto, não houve surgimento de brotação e desenvolvimento radicular em qualquer um dos tratamentos proporcionados, mostrando que, além do estoque inicial de carboidratos, outros fatores, como fitorreguladores, também podem influenciar no enraizamento.

Conforme relatado por Gasparetto et al., (2013), a espécie *B. multiplex* não respondeu ao uso de fitorreguladores, e as estacas secaram logo após sua introdução em tubetes contendo substratos de areia e terra com vermiculita 5% e ácido naftaleno acético (ANA) em casa de vegetação. Porém, quando a estaquia dessa espécie foi testada sem o fitorregulador, observou-se o completo estabelecimento da brotação com novas folhas.

É importante lembrar que o tipo de estaca utilizada nos plantios apresenta relação direta com o enraizamento, pois, em se tratando da porção basal e mediana, o acúmulo de reservas é maior, já que a composição química do tecido varia ao longo do ramo (Fachinello et al., 2005). Esse fato pode es-

tar relacionado ao acúmulo de substâncias de reserva e a um menor teor de nitrogênio, resultando em uma relação carbono/nitrogênio mais favorável, além da presença de raízes pré-formadas iniciais nessa região.

A estaquia de ramos secundários obtidas da matriz (colmo) apresentou-se como uma alternativa potencial para a produção de mudas para a espécies de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*, em função do método de cultivo empregado.

Conclusões

1. Os resultados indicam que, além do estoque inicial de carboidratos, outros fatores como fitorreguladores interferem no enraizamento das estacas de bambus.
2. As três espécies de bambus apresentaram diferenças quanto aos teores de carboidratos avaliados.
3. A espécie *Bambusa multiplex* não demonstrou enraizamento em nenhum dos procedimentos adotados, mesmo apresentando estoque de carboidratos maior do que a espécie *B. vulgaris*. Por outro lado, a propagação de *Bambusa vulgaris* mostrou-se viável em todos os métodos de estaquia avaliados.
4. As estaquias de ramos secundários no substrato na posição horizontal provaram ser a única alternativa viável, produzindo mudas da espécie *Bambusa vulgaris* var. *Vittata*.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, projeto Desenvolvimento sustentável da região Centro-oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu, Processo 574 516/2008-5.

Referências

- AZZINI, A.; NAGAI, V.; CIARAMELLO, D. Celulose monossulfito a partir de *Bambusa vulgaris*. **Bragantia**, v.38, n.14, p.131-144, julho, 1979.
- CARVALHO, J. M. F. C.; SILVA, M. M. A. **Plantas matrizes na propagação vegetativa**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2012.



- CHONGTHAM, N.; BISHT, M. S.; HAORONGBAM, S. Nutritional properties of bamboo shoots: potential and prospects for utilization as a health food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.10, p.153-168, maio, 2011.
- DAHLQUIST, A. Determination of maltase and isomaltase activities with a glucose oxidase reagent. **Biochemistry Journal**, v.90, p.547-551, setembro, 1961.
- DEMIATE, I. M.; WOSIACKI, G.; CZELUSNIAK, C.; NOGUEIRA, A. Determinação de açúcares redutores e totais em alimentos. Comparação entre método colorimétrico e titulométrico. **Exact and Soil Sciences, Agrarian and Engineering**, v.8, p.65-78, março, 2002.
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. Propagação de plantas frutíferas. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005.
- FÁRI, M.; MELO, N. F. Automação e racionalização na micropropagação industrial. n. 26, 1996. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/laborato/biocel/abctp26.htm>>. Acesso em 25 mai. 2015.
- GASPARETTO, G. A.; DAVALO, M. J.; RONDON, J. N. Diminuição do tempo de produção e de aclimação de duas espécies de bambu em casa de vegetação. **Biotemas**, v.26, n.1, p.17-23, março, 2013.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES-JUNIOR, F. T. **Plant propagation: principles and practices**. 6 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo – the gift of the gods**. Bogotá: Oscar Hidalgo-López Editor, 2003.
- KIBWAGE, J.K.; ODONDO, A.J.; MOMANYI, G.M. Structure and performance of formal retail market for bamboo products in Kenya. **Scientific Research and Essay**, v.3, p. 229-239, junho, 2008.
- LIMA-NETO, M. C.; RIBEIRO, J. de S.; BEZERRA NETO, E. Enraizamento de estacas de bambu com uso de auxinas. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.2, p.175-179, abril, 2009.
- LÉON, P.; SHEEN, J. Sugar and hormone connections. **Trends Plant Science**, v.8, p.110-116, março, 2003.
- MADHAB, J. The green gold: under exploited wealth of the North-East India. **Dialogue**, v.5, junho, p.45-52, 2003.
- MALAVASI, U. C. Macropropagação vegetativa em coníferas: perspectivas biológicas e operacionais. **Floresta e Ambiente**, v.1, p.131-135, janeiro, 1994.
- OKAHISA, Y.; YOSHIMURA, T.; IMAMURA, Y. Seasonal and height-dependent fluctuation of starch and free glucose contents in moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) and its relation to attack by termites and decay fungi. **Journal of Wood Science**, v.52, p.445-451, junho, 2006.
- POLLOCK, C. J. Environmental effects on sucrose and fructan metabolism. **Current Topics of Plant Biochemistry and Physiology**, v.5, p.32-42, abril, 1986.
- SALGADO, A. L.; AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; MAQCEDO, E. L. **Instruções técnicas sobre o bambu**. Campinas, Instituto Agronômico, 43p., 1992.
- SINGH, S.; KUMAR, P.; ANSARI, S. A. A simple method for large-scale propagation of *Dendrocalamus asper*. **Science Horticulture**, v.100, p.251-255, março, 2004.
- SOUZA, A.; MORAES, M. G.; RIBEIRO, R. C. L. F. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botânica Brasileira**, v.19, p.81-90, janeiro, 2005.
- STATSOFT INC. Statistica data analysis software system Version 7.0. Tulsa: Statsoft Inc., 2008.
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. Silvicultura clonal: princípios e técnicas. **Revista Arvore**, v.27, p.351-356, junho, 2009.



A close-up photograph of several bamboo stalks. The stalks are green and have a textured, segmented appearance. The lighting is dramatic, with some parts of the stalks in shadow and others brightly lit, highlighting their natural texture and color. The background is dark, making the bamboo stalks stand out.

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO



Em busca de características promissoras: avaliação experimental de seis espécies de bambu em Pinhais (PR)

Carlos Roberto Sanquetta⁽¹⁾, Francelo Mognon⁽²⁾, Ana Paula Dalla Corte⁽¹⁾, Adalberto Brito de Novaes⁽³⁾ e Christopher Thomas Blum⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP. 80.210-170. E-mails: sanquetta@ufpr.br, anapaulacorte@gmail.com, blumct@gmail.com

⁽²⁾ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 900 – Jardim Botânico, Curitiba – PR, CEP. 80.210-170. E-mail: mognonf@gmail.com

⁽³⁾ Departamento de Fitotecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Estrada do Bem Querer, km 4, Vitória da Conquista – BA, CEP. 45700-000. E-mail: adalberto.brito@globocom

Resumo – Este estudo teve como objetivo testar seis espécies de bambus, três nativas e três exóticas, em condições de campo no sul do Brasil. Foi adotado o delineamento de blocos ao acaso, com seis tratamentos (espécies) e quatro repetições. Cada repetição foi composta de 12 plantas espaçadas 5 m x 5 m umas das outras. Os tratamentos nativos foram *Guadua chacoensis*, *Guadua angustifolia* e *Merostachys skvortzovii*; os exóticos, *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris* e *Bambusa oldhamii*. Sobrevivência, densidade de colmos, área basal aparente e biomassa seca da parte aérea foram analisados ano a ano, de 2009 a 2014, sempre em abril. A sobrevivência média por tratamento no fim do período de avaliação variou significativamente entre as espécies. Em conclusão, *Bambusa oldhamii* foi a espécie de maior desempenho no experimento, tendo em conta a combinação de sobrevivência, densidade de colmos, área basal aparente e estocagem de biomassa.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BIOMASSA, CRESCIMENTO, DENSIDADE, SOBREVIVÊNCIA.



In search of promising features: experimental evaluation of six species of bamboo in Pinhais (PR)

Abstract – This study aimed to test six species of bamboo, three native and three exotic species, in field conditions in Southern Brazil. The randomized block design with six treatments (species) and four replications was adopted. Each repetition consisted of 12 plants spaced 5m x 5m from one another. The native treatments were *Guadua chacoensis*, *Guadua angustifolia*, and *Merostachys skvortzovii*; the exotic ones were *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris*, and *Bambusa oldhamii*. Survival, stems density, apparent basal area and aboveground dry biomass were analyzed year by year, from 2009 to 2014, always in April. The average survival per treatment at the end of the evaluation period varied significantly among species. In conclusion, *Bambusa oldhamii* was the species of best performance in the experiment, given the combination of survival, stems density, apparent basal area and biomass stocking.

INDEX TERMS: BIOMASS, GROWTH, DENSITY, SURVIVAL.

Introdução

O Brasil é o país com a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia (FAO, 2010). Ele também tem a maior diversidade de bambus no Novo Mundo (Judziewicz et al., 1999): ao todo, são 34 gêneros e 232 espécies, algumas ainda não formalmente descritas. Do total, 174 espécies (75%) são endêmicas do território (Filgueiras & Santos-Gonçalves, 2004).

Há pouca informação quantitativa sobre a área efetivamente coberta com bambus no Brasil. Alguns estudos apontam para cerca de 9 milhões de hectares no sudoeste da Amazônia dominados por bambus nativos (FAO, 2010). Os dados sobre plantações comerciais são contraditórios e não oficiais, mas informa-se que há uma área privada plantada com a espécie *Bambusa vulgaris* que teria aproximadamente 30 mil hectares e cujo objetivo é fornecer matéria-prima para uma fábrica de papel existente no nordeste do país (FAO, 2010).

Nos últimos anos, um interesse crescente no cultivo de bambu no Brasil levou o governo a sancionar uma lei que estabelece a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentável e Cultivo do Bambu (Brasil, 2011). Todavia, não são claros os reais efeitos que essa lei trouxe aos produtores rurais.

Há, no Brasil, muitas espécies com potencial de uso para fins comerciais e industriais e outras que podem ser cultivadas para fins ambientais. Londono (1998) refere-se aos gêneros *Actinocladum*, *Apoclada*, *Chusquea*, *Guadua* e *Merostachys* como os de maior possibilidade para o cultivo e a utilização. O autor menciona, também, que várias espécies de bambu exóticas foram introduzidas no território durante o período de colonização pelos portugueses, sendo os gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus* os mais destacados.

Embora existam no país muitas iniciativas e experiências sobre o cultivo e utilização de bambu, infelizmente elas são isoladas e descontínuas. No Primeiro Seminário Nacional de Investigação e Desenvolvimento da Rede Brasileira de Bambu, realizado em Brasília em 2011, ficou evidente a falta de conhecimento sobre o tema: apenas dois dos 22 artigos técnicos apresentados no evento tratavam do cultivo da planta. Infelizmente, a maioria dos estudos sobre o crescimento do bambu também não preenche os mínimos requisitos estatísticos. Portanto, há carência de estudos experimentais sobre o cultivo de espécies de bambu, tanto nativas quanto exóticas.

Para suprir essa carência, o objetivo deste estudo foi analisar a sobrevivência, a densidade, a área basal aparente e a estocagem de biomassa de seis espécies de bambu (três nativas e três exóticas) em um experimento de campo durante os primeiros cinco anos de desenvolvimento das plantas.

Material e métodos

O presente estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná, no município de Pinhais, estado do Paraná. As coordenadas geográficas centrais do local são: 25°23'30"S e 49°07'30"W e 688200/7190200, de acordo com o sistema de projeção UTM (datum SAD-69, UTM Fuso 22S) – veja a figura 1. A altitude varia entre 889 e 950 metros acima do nível do mar e a inclinação, de 3% a 20%.

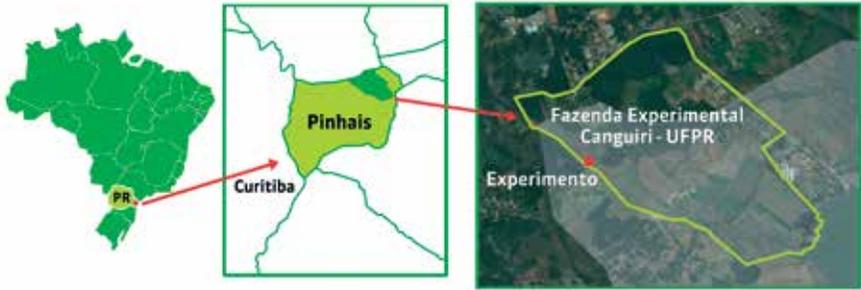


Figura 1. Localização da área do experimento em Pinhais, Paraná

O tipo climático da região é subtropical Cfb – caracterizado pelo clima temperado úmido, com verão ameno –, de acordo com a classificação de Köppen, com médias mensais variando de 12,5 °C a 22,5 °C, e sujeito a geadas severas durante o inverno (Iapar, 1994). A precipitação anual histórica é de 1,452 mm (Maack, 1981). Há classes de solos variados no local, como descrito por Sugamoto (2002).

O experimento foi estabelecido em dezembro de 2008, em um delineamento de blocos ao acaso com seis tratamentos (três espécies nativas e três exóticas) e quatro repetições, conforme a seguir:

ESPÉCIES NATIVAS:

T1 - *GUADUA CHACOENSIS* (LONDOÑO; PETERSON);

T2 - *GUADUA ANGUSTIFOLIA* (KUNTH);

T3 - *MEROSTACHYS SKVORTZOVII* (SENDULSKI).

ESPÉCIES EXÓTICAS:

T4 - *DENDROCALAMUS ASPER* (SCHULT; SCHULT F.);

T5 - *BAMBUSA VULGARIS* (SCHRAD) EX J.C. WENDL;

T6 - *BAMBUSA OLDHAMII* (MUNRO).

O plantio das mudas foi precedido de fertilização com mistura de calcário dolomítico (300 g por cova, 86,4 kg para todo o experimento), superfosfato simples (150 g por cova, 43,2 kg para todo o experimento), cloreto de potássio (150 g por cova, 43,2 kg para todo o experimento) e esterco bovino curtido (20 L por cova, 5,760 L para todo o experimento), como recomendado por Pereira e Beraldo (2010).

Cada espécie foi plantada em quatro diferentes unidades experimentais (parcelas) com área quadrada de 400 m² e bordadura de 10 m no seu entorno, definindo, assim, uma superfície total de 300 m². O número de mudas foi de 12 plantas por parcela, totalizando 48 mudas por tratamento e 288 mudas

úteis em todo o experimento. O espaçamento entre as mudas foi de 5 m x 5 m (12 plantas x 25 m²).

As medições do experimento foram realizadas anualmente, sempre no mês de abril, de 2009 a 2014. Registramos ano a ano a sobrevivência e as grandezas biométricas das plantas, como o número de colmos vivos (densidade de colmos) por touceira (conjunto de plantas), o diâmetro de cada colmo à altura do peito (*dap*), as dimensões da touceira e a altura da touceira, entre outros (Mognon, 2015). A área basal aparente foi calculada com base nos *dap* obtidos a partir da circunferência externa (*cap* – circunferência à altura do peito). Uma visão geral do experimento e o detalhe da medição da *cap* são apresentados na figura 2.



Figura 2. À esquerda, visão geral do experimento.
À direita, medição da *cap* (circunferência à altura do peito) dos colmos

Em relação à estocagem de biomassa, calculou-se a massa seca total acima do solo considerando os seguintes componentes: colmos, galhos e folhagem. As equações desenvolvidas por Mognon (2015) foram empregadas para esse fim, quais sejam:

$$T1 \text{ e } T2: ps = 0,90524 + 0,24020 \text{ dap}^2$$

$$T3: ps = 0,06822 + 0,06895 \text{ dap}^2$$

$$T4: ps = 0,66797 + 0,16767 \text{ dap}^2$$

$$T5: ps = 0,55567 + 0,17820 \text{ dap}^2$$

$$T6: ps = 0,53290 + 0,19118 \text{ dap}^2$$

em que:

ps = biomassa seca acima do solo (kg);

dap = diâmetro do colmo à altura do peito (cm).

Neste estudo, a sobrevivência, a densidade de colmos, a área basal aparente e o estoque de biomassa total seca acima do solo foram analisados estatisticamente na última medição, em 2014, por meio de análise de variância (Anova) e teste de Scott-Knott, usando o *software* ASSISTAT®.

Resultados e discussão

As espécies analisadas apresentaram comportamentos diferentes em termos de sobrevivência. As taxas de sobrevivência dos tratamentos T2, T3, T5 e T6 foram as mais elevadas, com valores de 95,85%, 87,5%, 100% e 97,9%, respectivamente – sem diferença estatisticamente relevante entre si. Por outro lado, T1 e T4 apresentaram sobrevivências menores (66,7% e 75%, respectivamente), com diferença estatística em comparação ao primeiro grupo de espécies, porém não diferentes entre si.

A principal causa da maior mortalidade em T1 foi atribuída ao ciclo de cultura da espécie, uma vez que, no momento da instalação do experimento, a mesma estava em processo de florescimento e posterior mortandade massiva. Isso acontece sob condições naturais e é comum para a maioria dos bambus. Trata-se de plantas perenes que morrem simultaneamente após a floração, embora o ciclo seja diferente em cada espécie, variando de anos a décadas. Devido ao período longo de florescimento em massa da maioria das espécies de bambu (Janzen, 1976), há poucos relatos sobre a reprodução sexuada desse tipo de planta. Entre as espécies brasileiras, apenas os bambus lenhosos *Actinocladum verticillatum* (Nees) McClure (Filgueiras & Pereira, 1988) e *Merostachys riedeliana* Döll (Guilherme & Ressel, 2001) foram estudados em relação à biologia reprodutiva (Grombone-Guaratini et al., 2011).

Por outro lado, a maior causa de mortalidade em T4 foram as baixas temperaturas observadas no inverno, que atingiram valores negativos em junho de 2009 e de 2011 e em julho e agosto de 2013. A região apresenta geadas severas, podendo até nevar eventualmente, como ocorreu em 2013. Essas condições afetaram severamente T4, mas algumas touceiras sobreviveram e rebrotaram. Ao contrário, T1 não foi afetado em termos de sobrevivência pelas temperaturas baixas, o que indica a sua capacidade de resistência ao clima mais frio. Embora Young & Haun (1922) tenham relatado que *D. asper* é um bambu relativamente resistente ao frio, tal fato não foi observado neste estudo.

T3 foi a espécie que atingiu a maior densidade de colmos durante o período de cinco anos de avaliação do experimento, com 2.604 unidades por hectare, em média, o que significa 6,5 vezes a sua densidade inicial por ocasião

do plantio. Isso mostra a grande capacidade dessa espécie em brotar e produzir novos colmos. Moreira et al. (2013) analisaram o potencial de rebrota de *M. multiramea* – espécie próxima de *M. skvortzovii* do ponto de vista taxonômico e muitas vezes confundida com ela – e concluíram que uma maior insolação em áreas de borda favorece muito a produção de colmos daquela espécie, em comparação a condições sob cobertura florestal. Nesse experimento, as plantas encontram-se em pleno sol. Santos et al. (2012) afirmaram que a reprodução vegetativa por rizomas, muito comum nessas espécies, possibilita o alcance de alta densidade de colmos por unidade de área e rápido crescimento, o que as torna altamente competitivas.

T6 também apresentou alta densidade de colmos, com 1.731 unidades por hectare. Não foi observada diferença estatística em relação a T2. As demais espécies tiveram densidades mais baixas, com 114 (T2), 264 (T4), 352 (T1) e 1.021 (T5) colmos por hectare, que não diferiram significativamente entre si. Deve-se destacar, no entanto, que a densidade de T1 e T4 foi afetada por elevada taxa inicial de mortalidade, devido a diferentes causas, como explicado anteriormente. Por outro lado, T2 apresentou baixa mortalidade, mas também a baixa capacidade de rebrotar e aumentar sua densidade de colmos durante os cinco anos de observação.

Vale notar, ainda, que T5 foi afetada por baixas temperaturas durante o inverno, o que repercutiu em elevado número de colmos mortos ou secos. No entanto, observamos uma retomada da brotação após o início da primavera, o que determinou a manutenção de baixa taxa de mortalidade para essa espécie. Esse processo afetou o seu crescimento, limitando seu desenvolvimento em comparação a outras espécies.

Apesar da alta densidade de caules produzidos por T3, sua área basal aparente foi de apenas 3,15 m².ha⁻¹. Isso acontece devido ao pequeno diâmetro dos colmos dessa espécie. As áreas basais de T1, T2, T4 e T5 não foram estatisticamente diferentes entre si, nem de T3, e obtiveram valores médios de 2,99; 0,07; 3,27 e 12,86 m².ha⁻¹, respectivamente.

T6 apresentou a maior área basal aparente no experimento, com 27,56 m².ha⁻¹. Esse valor elevado, se comparado aos demais tratamentos, resultou de uma combinação de baixa taxa de mortalidade, alta densidade de colmos e maior tamanho dos brotos em relação às outras espécies. A área basal aparente dessa espécie (*B. oldhamii*) foi estatisticamente distinta das outras analisadas.

No que concerne à estocagem de biomassa estimada em 2014, o tratamento T6 foi o que apresentou a maior média, com 76,3 Mg.ha⁻¹, seguido por T5, com 34,9 Mg.ha⁻¹. Os demais tratamentos apresentaram estoque de biomassa muito inferiores, cujas diferenças estatísticas destacamos na figura 3.



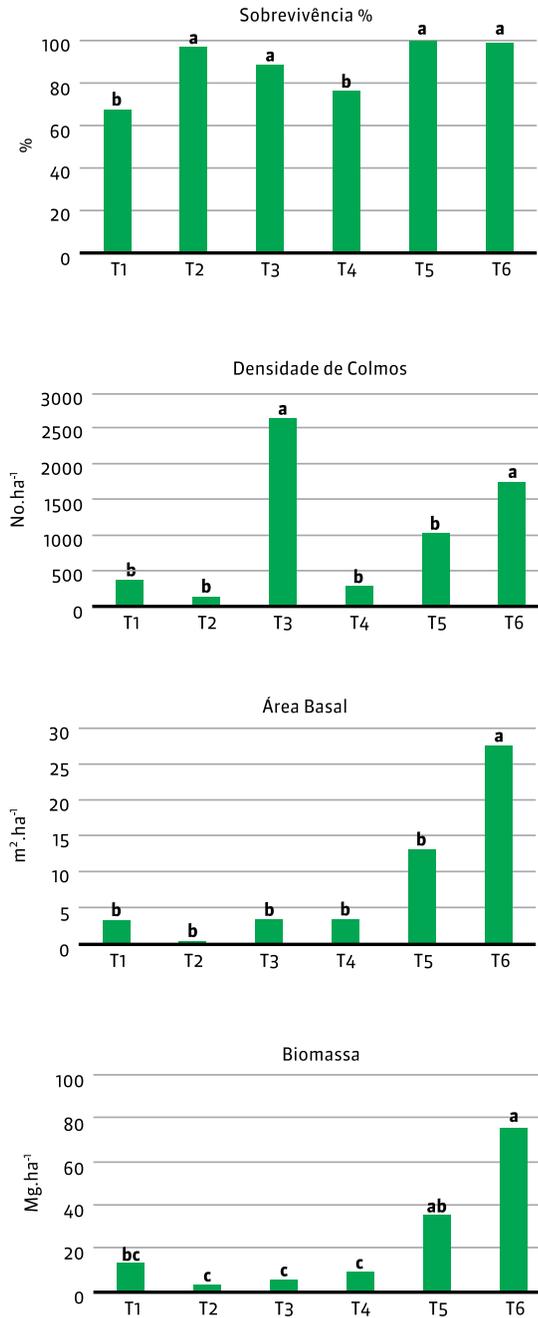


Figura 3. Principais resultados do estudo de desempenho experimental de seis espécies de bambu. Valores indicam as médias de cada tratamento. Letras distintas denotam diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$)

Os resultados em termos de estocagem de biomassa deixam claro o melhor desempenho de T6 neste estudo. Trabalhos realizados por Castañeda-Mendoza e colaboradores (2005) avaliaram os estoques de biomassa aérea em plantios de *B. oldhamii* com sete anos de idade localizados em Veracruz, no México, e encontraram estoque de biomassa aérea da ordem de 103,83 Mg.ha⁻¹. Segundo eles, a produção de biomassa é um fator importante a ser considerado previamente ao estabelecimento de plantações florestais comerciais para fins bioenergéticos. Seus resultados corroboram o potencial de estocagem de biomassa da espécie no local de sua pesquisa, embora os fatores ambientais e de regimes de manejo no caso citado sejam diferentes dos vigentes neste estudo.

Não há pesquisa publicada sobre sobrevivência e crescimento de *B. oldhamii* no Brasil em condições experimentais. A maior área plantada no país em escala comercial é ocupada por *B. vulgaris*, encontrada nas regiões Norte e Nordeste e usada para a indústria de celulose e papel (Cechinel Filho & Yunes, 1998; Resende et al., 2011). No entanto, nosso estudo revelou que *B. oldhamii* apresenta melhor desempenho em termos de sobrevivência e crescimento nos primeiros cinco anos de plantio experimental em comparação com outras espécies de bambu testadas no sul do Brasil. Por isso, sugerimos que a espécie seja mais profundamente estudada em experimentos demonstrativos em condições de campo e, talvez, utilizada em plantações industriais em grande escala. Para que isso aconteça, porém, são necessárias mais pesquisas sobre as propriedades físicas e mecânicas dos colmos dessa espécie.

Conclusões

1. Em nosso experimento, *Bambusa oldhamii* (T6) foi o tratamento de melhor desempenho entre os seis analisados, considerando a combinação das variáveis sobrevivência, densidade, área basal aparente e estocagem de biomassa aérea. A espécie mostrou ser resistente ao clima mais frio do sul do Brasil – onde é frequente a ocorrência de geadas e, ocasionalmente, neva –, apresentando boa capacidade de rebrotar e produzir colmos de grande porte, que apresentam potencial uso comercial e industrial.
2. *Bambusa vulgaris* (T5), por sua vez, também apresentou bons resultados em termos de sobrevivência e desenvolvimento, o que a classifica como uma espécie de bom potencial para o plantio. Contudo, foi severamente afetada pelas condições ambientais – sabidamente as temperaturas baixas –, o que pode representar uma restrição ao seu cultivo em larga escala no sul do Brasil.



3. Entre as espécies nativas, *Merostachys skvortzovii* (T3) mostrou ser interessante para restabelecer a vegetação de áreas degradadas devido à sua adaptação e capacidade de formar touceiras com alta densidade de colmos, embora sua produção de biomassa tenha sido limitada. Estudos complementares são necessários para corroborar o emprego dessa espécie para fins de restauração e recuperação, tendo em vista o caráter dominante da mesma em ambientes alterados pela ação antrópica.

4. As demais espécies estudadas apresentaram potencial limitado, considerando os cinco anos de avaliação do experimento. Isso não quer dizer, porém, que algumas dessas espécies não possam ter melhor desempenho no futuro. Por esse motivo, é importante prosseguir com a análise experimental por mais alguns anos até se ter convicção sobre as espécies de melhor desempenho e mais recomendáveis para emprego na cadeia produtiva.

Agradecimentos

Ao Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), da Petrobras, à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à Fundação da Universidade Federal do Paraná (Funpar), pelo financiamento deste projeto; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por concessão de bolsas de pesquisa vinculadas a este projeto; aos integrantes do Centro BIOFIX de Pesquisas em Biomassa e Carbono da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio em atividades de campo e de laboratório.

Referências

- BRASIL. 2011. Lei 12.484 de 8 de setembro de 2011 – Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112484.htm. Acesso em 20 abr. 2013.
- CASTAÑEDA-MENDOZA, A.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J.; GÓMEZ-GUERRERO, A.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J.I.; VAQUERA-HUERTA, H. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. **Agrociencia**, v.39, p.107-116, 2005.
- CECHINEL FILHO, V.C.; YUNES, R.A. Estratégia para obtenção de compostos farmacologicamente ativos a partir de plantas medicinais. Conceitos sobre modificação estrutural para otimização da atividade. **Química Nova**, v.21, n.1, p.99-105, 1998.

- FILGUEIRAS, T.; SANTOS-GONÇALVES, A.P.S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, v.18, n.1, p.7-18, 2004.
- FILGUEIRAS, T.S.; PEREIRA, B.A.S. On the flowering of *Actinocladum verticillatum* (Gramineae: Bambusoideae). *Biotropica*, v.20, p.164-166, 1988.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Global Forest Resources Assessment 2010**. Roma: FAO, 2010. Disponível em <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/>. Acesso em 30 jul. 2014.
- GROMBONE-GUARATINI, M.T.; NASCIMENTO, A.A.; SANTOS-GONÇALVES, A.P. Flowering and fruiting of *Aulonemia aristulata*: a gynomonocious woody bamboo species from Atlantic Forest in Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, v.34, n.1, p.135-140, 2011.
- GUILHERME, F.A.G.; RESSEL, K. Biologia floral e sistema de reprodução de *Merostachys riedeliana* (Poaceae: Bambusoideae). *Revista Brasileira de Botânica*, v.24, p.205-211, 2001.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas climáticas do estado do Paraná**, Londrina, 1994. 49pp.
- JANZEN, D. H. Why bamboos wait so long to flower. *Annual Reviews in Ecology and Systematics*, v.7, p.347-391, 1976.
- JUDZIEWICZ, E.J.; CLARK, L.G.; LONDOÑO, X. **American bamboos**. Washington, D.C., USA: Smithsonian Institution Press, 1999. 392 pp.
- LONDOÑO, X. **Evaluation of bamboo resources in Latin America**. Final Report Project 96-8300-01-4, New Delhi, India: INBAR. International Network for Bamboo and Rattan. 1988. 30 pp.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: J. Olympio, 2ª. ed., 450p.
- MOGNON, F. Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015. 82p.
- MOREIRA, K.; SMANIOTTO, L.; SANTOS, M.P.V.; BUDKE, J.C. Maior abertura de dossel facilita o desenvolvimento de *Merostachys multiramea* Hack em uma Floresta Subtropical Alto Montana. *Perspectiva*, v.37, p.57-65, 2013.
- PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Editora Canal 6, 2ª ed., 2010. 240p.
- RESENDE, C.D.S.; COSTA, J.V.; BRITO, A.S.; RAUECKER, U.N.; RODOVALHO, L.F.F. Obtenção do extrato hidroalcoólico da *Bambusa vulgaris vittata* e avaliação da atividade antimicrobiana. In: II Seminário de Pesquisas e TCC da Faculdade União de Goyazes, Trindade-GO, **Anais**. Trindade: FUG, 2011, p.1-24.
- SANTOS, S.C.; BUDKE, J.C.; MULLER, A. Regeneração de espécies arbóreas sob a influência de *Merostachys multiramea* Hack. (Poaceae) em uma floresta subtropical. **Acta Botanica Brasileira**, v.26, p.218-229, 2012.
- SUGAMOSTO, M.L. Uso de técnicas de geoprocessamento para elaboração do mapa de aptidão agrícola e avaliação da adequação de uso do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, Município de Pinhais – Paraná. 2002. 133p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- YOUNG, R.A.; HAUN, J.R. **Bamboo in the United States: description, culture, and utilization**. Washington, D.C.: UNT Digital Library. 1922. Disponível em: <<http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metad6207/>>. Acesso em 25 dez. 2014.



Estudo de caso de plantio adensado de *Bambusa vulgaris*



Saulo Philipe Sebastião Guerra⁽¹⁾, *Marcelo de Almeida Silva*⁽¹⁾,
Luciana de Arruda Garcia⁽¹⁾, *Raoni Xavier de Melo*⁽¹⁾,
Marcelo Ticelli⁽²⁾, *Carolina Ruv Lemes Gonçalves Mendes*⁽¹⁾
e *Carla Martins Brito*⁽¹⁾

⁽¹⁾ Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (Unesp), campus de Botucatu. Rua José Barbosa de Barros, n° 1780, CEP 18603-870, Botucatu-SP. E-mails: ssguerra@fca.unesp.br, marcelosilva@fca.unesp.br, dearrudagarcia@gmail.com, raonimelo@hotmail.com, caroL_ruv@agronoma.eng.br, carl_britto@hotmail.com

⁽²⁾ Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento dos Agronegócios do Bambu (UPDAB/APTA/SAA). Rodovia Mário Batista Mori, SP 141, s/n, km 38, Bairro Rio das Pedras, CEP 18280-000, Caixa postal 33, Tatuí-SP. E-mail: mticelli@apta.sp.gov.br

Resumo – A busca por novas fontes de energia vem gerando inovações na cadeia produtiva do bambu. Diante disso, este estudo de caso apresenta uma comparação econômica entre dois cenários produtivos: floresta adensada de *Bambusa vulgaris* e floresta convencional de eucalipto. Adotou-se o mesmo sistema silvicultural para as duas espécies, com mudas plantadas no espaçamento 3,0 x 2,0 m. Para a colheita foram utilizados o *feller buncher* (colhedora mecanizada que utiliza um cabeçote de corte de árvore inteira com acumulador de toras) para corte e derrubada, um trator com garra para o arraste, uma garra traçadora para o processamento e um picador estacionário com uma grua para transformação da biomassa em cavacos. A análise econômica foi feita em dois cenários (1 e 2), que avaliaram os custos de produção de cavaco de *Bambusa vulgaris* e de eucalipto, respectivamente, ambos em tonelada por hectare num ciclo de seis anos. Como resultado, a biomassa picada de eucalipto apresentou um menor custo de produção em relação à de *Bambusa vulgaris*.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: EUCALIPTO, BAMBU, BIOMASSA, BIOENERGIA.

Case study for dense planting of *Bambusa vulgaris*

Abstract – The search for new sources of energy has been generating innovations in the bamboo production chain. Thereby, the aim of this case study was to present an economic comparison between two scenarios, the dense forest of *Bambusa vulgaris* (1) and the conventional eucalyptus forest (2). The same silvicultural practices were assumed for both species, in which seedlings were planted at a spacing of 3.0 x 2.0 m. The biomass in both forests was harvested for 6 years using a feller buncher, transported with logging trucks, cut into logs with a slasher, and reduced into woodchips with a fixed wood chipper. An economic analysis was done on scenarios 1 and 2, evaluating the bamboo and eucalyptus woodchip production costs, in ton per hectare after a 6 years cycle. The eucalyptus biomass production resulted in lower production cost compared to the bamboo production.

INDEX TERMS: EUCALYPT, BAMBOO, BIOMASS, BIOENERGY.

Introdução

O bambu é uma planta monocotiledônea pertencente à família Poaceae. Possui cerca de 50 gêneros e 1.300 espécies distribuídas naturalmente dos trópicos às regiões temperadas do planeta, numa ampla faixa, entre as latitudes 46° N e 47° S, desenvolvendo-se desde o nível do mar até 4.300 metros de altitude (Zhang & Clark, 2000).

O Brasil possui a maior biodiversidade de bambu da América do Sul. Há aproximadamente 137 espécies e 17 gêneros em quase todo o território nacional. Os estados do Acre, Amazonas, Bahia, Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Santa Catarina concentram a maior parte dos bambuzais, com ênfase para uma das maiores reservas de bambu nativo no sudoeste da Amazônia, que ocupa cerca de 180.000 km² (Judziewicz et al. 1999). Entre as espécies comerciais introduzidas, destaca-se a *Bambusa vulgaris* (figura 1), utilizada no Nordeste do Brasil para a produção de celulose.



FOTO: MARCELO DENADAI

Figura 1. Plantio de *Bambusa vulgaris* com 107 dias de plantio

Embora abundante no país, o bambu ainda é pouco utilizado e pesquisado, limitando-se a aplicações tradicionais (como artesanato, móveis e broto comestível) e para a fabricação de papel em indústrias (Presznhuk, 2004). Nos últimos anos, porém, o bambu vem sendo cada vez mais utilizado para a produção de biomassa e de energia (Truong & Le, 2014).

O aproveitamento energético da biomassa de bambu no Brasil é, atualmente, realizado pelo Grupo Penha, no estado da Bahia. A unidade, localizada na cidade de Santo Amaro, explora aproximadamente 3 mil hectares de biomassa de bambu, com produção voltada para fins energéticos. Essa biomassa é queimada em caldeira para aproveitar o vapor utilizado no processo de reciclagem de papel. O sistema consome $4,5 \text{ th}^{-1}$ de cavaco de bambu, com 30% de umidade, fornecendo 15 th^{-1} de vapor a $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Atualmente, são queimados 70 ha mês^{-1} , com rendimento de $200 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de cavacos, tornando a empresa autossuficiente em energia para a geração de vapor.

Outro grupo que se destaca na produção de energia e celulose de bambu é o João Santos, localizado em Pernambuco e na Paraíba, que explora a maior plantação comercial do mundo, com 40 mil hectares de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, voltada à produção de biomassa (Guarnetti & Coelho, 2014).

O Brasil apresenta condições edafoclimáticas (relativas ao solo e ao clima) e área agricultável para o desenvolvimento da cultura de bambu em larga escala. Quando comparado a sistemas de produção de energia já consolidados no país, como o eucalipto e o pinus, o bambu apresenta vantagens competitivas, especialmente no que se refere à capacidade de brotação e ausência de pragas e doenças que causam impacto econômico. No entanto, é necessária a obtenção de uma produtividade superior à encontrada no sistema de produção com eucalipto para que essas plantações desempenhem papel importante na economia energética mundial.

A floresta adensada para energia é uma forma de produção de biomassa que corresponde às plantações de curta rotação (três a cinco anos), isto é, florestas de crescimento rápido, com grande número de plantas por hectare, para maior produção de massa seca em menor área útil (Magalhães, 1982).

Devido ao seu rápido crescimento, o bambu é um material com potencial econômico para geração de biomassa. Beraldo e Azzini (2004) explicam que esse rápido desenvolvimento vegetativo viabiliza colheitas em ciclos curtos. Outro benefício está relacionado às características climáticas e ambientais do país, que possibilitam a exploração das florestas energéticas em todas as suas regiões (Machado, 2014).

A escolha correta de densidade populacional por unidade de área influencia o crescimento das plantas individualmente, bem como seu conjunto. Esse é um dos principais aspectos do manejo florestal (Stape, 1995). Para o eucalipto, foi desenvolvido o conceito de Sistema Florestal de Curta Rotação (SFCR) – que já ocorre naturalmente para o bambu – com a finalidade de gerar energia. A produção de biomassa é alcançada pela diminuição do tempo do ciclo para a colheita e do espaçamento útil entre plantas em relação aos plantios de florestas convencionais, que visam à produção de celulose ou até mesmo carvão (Guerra et al., 2012).

A pesquisa para a obtenção de energia vem gerando inovações na cadeia produtiva do bambu. A busca por uma maior produção de biomassa em uma menor área pode estimular o desenvolvimento da silvicultura, colheita e transporte, além de aumentar a produtividade e a eficiência da matéria-prima.

O objetivo deste estudo de caso foi realizar uma comparação econômica de dois cenários produtivos: floresta adensada de *Bambusa vulgaris*, com espaçamento adensado de 6m² por planta; e floresta convencional de eucalipto, com espaçamento de 6m² por planta.



Material e métodos

Foi realizada uma análise econômica dos custos de produção de biomassa picada em cavacos, em tonelada por hectare, de *Bambusa vulgaris* e eucalipto, cenários 1 e 2, respectivamente. Para ambos os cenários, foram considerados o mesmo manejo silvicultural, desde a implantação até a colheita. O espaçamento utilizado foi 3,0 x 2,0 m, considerado convencional para o eucalipto e adensado para o bambu.

O estudo de caso tomou como base uma área experimental de um hectare e o sistema silvicultural teve início com as operações de pré-plantio. Nessa etapa, foi feita a limpeza do terreno, com prévia aplicação de herbicida pós-emergente, de princípio ativo glifosato, na dosagem de 1440 gramas de ingrediente ativo por hectare, com a utilização de um pulverizador agrícola acoplado a um trator.

Posteriormente, iniciaram-se as atividades de preparo de solo apenas na linha de cultivo. Foi feita uma subsolagem a 50 cm de profundidade, com a utilização de um subsolador acoplado a um trator. Tanto a aplicação de herbicida como a subsolagem utilizaram um trator de 88 kW. Para o combate à formiga, aplicou-se 8 quilos de uma isca granulada à base de sulfluramida (0,3%), de forma sistemática, na quantidade de 5 gramas a cada 6 m².

As operações de plantio foram divididas em: aquisição das mudas, advindas de viveiro terceirizado; implantação das mudas, realizada de forma manual; e, concomitantemente, irrigação com aplicação de 2 litros de água por planta. A água utilizada no processo foi transportada até o campo por meio de um tanque de irrigação acoplado a um trator de 51 kW. Para a fertilização, houve a abertura de covetas laterais e aplicação de 100 gramas planta⁻¹ de NPK (6-30-6) no plantio, considerada a adubação de base.

Todas as operações realizadas nos seis meses iniciais após o plantio foram definidas como de manutenção. O coroamento químico, atividade de dessecar as plantas invasoras, foi utilizado em um raio de até 100 cm das mudas plantadas, com a aplicação de herbicida pós-emergente na mesma concentração utilizada na limpeza do terreno.

Na adubação de cobertura de 150 gramas planta⁻¹ de NPK (20-0-20), foram adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B (0,3%) 60 dias após o plantio; 180 dias após o plantio, foi feita adubação de 180 gramas planta⁻¹ de NPK (20-0-20) e adicionados os micronutrientes Zn (0,5%) e B (0,3%).

Também foi realizado um controle bimestral de combate localizado à formiga, com aplicação de 8 gramas de iscas granuladas por metro quadrado de terra solta quando encontrado um olheiro de formiga ativo, ou seja, reali-



zando o corte. As manutenções dos anos seguintes incluíram o combate à formiga de modo localizado, com utilização de 5 gramas de isca granulada por metro quadrado de terra solta de olheiro.

Foram utilizados na colheita o *feller buncher* de 132 kW para corte e derrubada, trator com garra de 885 kW para o arraste, garra traçadora de 132 kW para processamento e um picador estacionário de 250 kW, alimentado com uma grua, para transformação de ambas as biomassas em cavacos.

O cálculo da produtividade de biomassa para cada cenário foi obtido por meio de dados de projetos de pesquisa realizados juntamente com empresas dos respectivos setores, utilizando os valores do incremento médio anual tanto para produção de eucalipto, 25,65 toneladas de biomassa por hectare ano⁻¹, como para o *Bambusa vulgaris*, 20 toneladas de biomassa por hectare ano⁻¹, considerando 30% de umidade.

Os custos das atividades silviculturais e de colheita foram alcançados por meio da compilação de dados de projetos de pesquisa junto a empresas do setor florestal, com a finalidade produtiva de eucalipto para energia e seus demais usos.

Resultados e discussão

Os dados econômicos de produção das biomassas florestais possibilitaram visualizar a totalidade do cenário produtivo de bambu voltado para fins energéticos e analisar economicamente a viabilidade da implantação desses plantios, quando comparados às plantações convencionais de eucalipto. Os custos de produção levantados neste estudo de caso, desde o plantio até a colheita, são apresentados nas tabelas 1 e 2.

A diferença nos custos para a produção de biomassa de ambas as espécies se inicia no plantio: por hectare, o bambu é R\$ 907,07 mais caro que o eucalipto. Esse valor pode ser explicado pelos altos custos para produção de mudas de *Bambusa vulgaris* no viveiro, devido à baixa tecnologia disponível nesse tipo de estabelecimento, que torna os preços consideravelmente mais onerosos do que para mudas de eucalipto.

Quanto aos custos de manutenção das culturas no campo, em seus primeiros meses, ambos se comportaram de maneira semelhante, apresentando os mesmos valores. O primeiro ano de manutenção (ano 1) teve valores iguais para as duas culturas, fator que se altera nos anos seguintes (anos 2 e 3), em razão da colheita do *Bambusa vulgaris* no ano 3, período em que ocorre a primeira rotação da cultura. O eucalipto, por sua vez, permanece com os mesmos gastos de manutenção anuais.



Tabela 1. Custos de produção de biomassa de bambu (*Bambusa vulgaris*)

Cenário 1*	
Investimento em equipamentos	R\$ 3.765.500,00
Arrendamento da terra (ha ⁻¹)	R\$ 1.000,00
Manejo pré-plantio (ha ⁻¹)	R\$ 992,90
Plantio (ha ⁻¹)	R\$ 2.270,77
Manutenção primeiros meses (ha ⁻¹)	R\$ 999,80
Manutenção - ano 1 (ha ⁻¹)	R\$ 405,44
Manutenção - ano 2 e 3 (ha ⁻¹)	R\$ 270,60
Colheita - 1ª rotação (ha ⁻¹)	R\$ 1.660,80
Transformação em cavaco (ha ⁻¹)	R\$ 840,00
Manutenção - ano 4 (ha ⁻¹)	R\$ 405,44
Manutenção - ano 5 e 6 (ha ⁻¹)	R\$ 270,60
Colheita - 2ª rotação (ha ⁻¹)	R\$ 1.660,80
Transformação em cavaco (ha ⁻¹)	R\$ 840,00
Custo total	R\$ 3.777.117,15
Custo sem investimento em equipamentos	R\$ 11.617,15
Custo por tonelada	R\$ 96,81

* VALORES SUJEITOS A VARIACÕES.

Tabela 2. Custo de produção de biomassa de eucalipto

CENÁRIO 2 *	
Investimento em equipamentos	R\$ 3.765.500,00
Arrendamento da terra (ha ⁻¹)	R\$ 1.000,00
Manejo pré-plantio (ha ⁻¹)	R\$ 992,90
Plantio (ha ⁻¹)	R\$ 1.363,70
Manutenção primeiros meses (ha ⁻¹)	R\$ 999,80
Manutenção - ano 1 (ha ⁻¹)	R\$ 405,44
Manutenção - ano 2, 3 e 4 (ha ⁻¹)	R\$ 405,90
Manutenção - ano 5 (ha ⁻¹)	R\$ 76,30
Manutenção - ano 6 (ha ⁻¹)	R\$ 84,30
Colheita (ha ⁻¹)	R\$ 4.262,72
Transformação em cavaco (ha ⁻¹)	R\$ 2.964,60
Custo total	R\$ 3.778.055,66
Custo sem investimento em equipamentos	R\$ 12.555,66
Custo por tonelada	R\$ 81,58

* VALORES SUJEITOS A VARIACÕES.

Nos anos posteriores (anos 4, 5 e 6), a manutenção do eucalipto teve custos menores em comparação aos do *Bambusa vulgaris*. Em virtude do corte realizado no ano 3, a plantação de bambu volta a ter os mesmos tratos silviculturais pós-plantio, com necessidade de adubação, combate à formiga e outras despesas, como coroamento e roçadas.

Pode-se observar que os gastos de colheita e de transformação em cavaco para a cultura de *Bambusa vulgaris* (picagem da tora e dos colmos) foram de R\$1.660,80 ha⁻¹ e R\$ 840,00 ha⁻¹, respectivamente. Para a cultura do eucalipto, o custo de colheita foi de R\$ 4.262,72 ha⁻¹ e da transformação em cavaco, R\$ 2.964,60.

Essa diferença de valores ocorre em razão do custo fixo da operação de colheita e picagem por tonelada de material. Como o *Bambusa vulgaris* produz menos biomassa por hectare do que o eucalipto (em média, 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ e 25,6 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente), o custo da colheita e picagem do bambu por hectare é menor.

Em relação aos valores da produção de biomassa do eucalipto, sem considerar os investimentos em equipamentos, observa-se que as atividades mais onerosas foram a colheita (33,9% do custo total), transformação do material em cavaco (23,6% do custo total) e manutenção florestal durante os seis anos (15,7% do custo total).

Já os gastos mais altos de produção de biomassa de *Bambusa vulgaris*, sem considerar os valores de investimento em equipamentos, foram a colheita realizada em duas rotações (28,6% do custo total), manutenção durante os seis anos (20,2% do custo total) e o plantio (19,5% do custo total).

De maneira geral, verifica-se que o custo de produção de biomassa, sem o investimento em equipamentos, foi menor para a cultura do *Bambusa vulgaris*, em torno de R\$ 940,00, ou seja, 0,025% menor, em relação ao eucalipto. Porém, quando analisado o custo por tonelada de material picado, a cultura do *Bambusa vulgaris* apresentou um custo 15,7% maior em comparação ao gasto por tonelada do eucalipto picado (R\$ 96,81 e R\$ 81,58, respectivamente).

O que explica a despesa menor para produção de biomassa picada por tonelada na cultura do eucalipto é a sua maior produtividade (153,9 t ha⁻¹) em relação à do *Bambusa vulgaris* (120 t ha⁻¹), valores verificados ao fim de seis anos, que caracterizam o ciclo completo de produção do eucalipto, considerando dois ciclos de corte para a cultura do *Bambusa vulgaris*.

Pode-se relacionar tal diferença ao grande avanço no melhoramento das espécies de eucalipto, que praticamente duplicaram a sua produtividade nos últimos 25 anos, frente a uma espécie como o bambu, que ainda não possui melhoramento genético e definição de todas as práticas silviculturais, que podem ser consideradas incipientes quando comparadas aos estudos para a produção do eucalipto.



Conclusões

1. A produção de cavaco de eucalipto implantado no sistema florestal convencional apresentou um menor custo quando comparado ao gasto de produção de cavaco de bambu no sistema florestal de curta rotação.
2. Os custos das mudas de *Bambusa vulgaris* influenciaram consideravelmente o valor de implantação da cultura em comparação ao plantio de eucalipto.

Referências

- BALLONI, E.A.; MIGLIORINI, A.J.; BRITO, J. O. Produção de energia através de florestas de rápido crescimento. **Circular Técnica** IPEF, n°.103, 1980.
- BERALDO, A.L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba (RS): Editora Agropecuária, 2004. 128 p.
- GUARNETTI, R.L.; COELHO, S.T. Conheça os principais aspectos para a geração de energia elétrica utilizando bambu. **Jornal Brasileiro das Indústrias de Biomassa**. Curitiba, edição n° 014, ano III, p.3, mai./jun. de 2014.
- GUERRA, S.P.S.; LANÇAS, K.P.; GUARCIA, E.A.; SPINELLI, R. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E.G.; STRADIOTTO, N.R (orgs.). **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2012. Capítulo 6, p.126-161.
- Hinchee, M.; Rottmann, W.; Mullinaux, L.; Zhang, C.; Chang, S.; Cunningham, M.; Pearson, L.; Nehra, N. Short-rotation woody crops for bioenergy and biofuels applications. **In Vitro Cellular & Development Biology - Plant**, United Kingdom, v.45, p.619-629, 2009.
- Judziewicz, E.J.; Clark, L.G.; Londoño X, Stern, M.J. **American bamboos**. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1999. 392 p.
- MACHADO, F.C. Crescimento inicial de um clone de *Eucalyptus grandis* em diferentes arranjos de plantio no sistema de curta rotação. 2014. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2014.
- MAGALHÃES, J.G.R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC, 1982.
- PRESZNHUK, R.A.O. Estudo da viabilidade do filtro de carvão de bambu como pós- tratamento em estação de tratamento de esgoto por zona de raízes: tecnologia ambiental e socialmente adequada. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação e Tecnologia do Paraná, 2004.
- SÃO PAULO. Secretaria de Energia. **Plano Paulista de Energia PPE 2020**. São Paulo, 2012, 210 p.
- STAPE, J.L. Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais. 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba (SP), 1995.
- TRUONG, A.H.; LE, T.M.A. **Overview of bamboo biomass for energy production**. 2014.
- ZHANG, W.P.; CLARK, L.G. Phylogeny and classification of the *Bambusoideae* (Poaceae). In: JACOBS, S.W.L.; EVERETT, J.E (Eds.). **Grasses: systematics and evolution**. Collingwood, Victoria, Australia: CSIRO Publishing, 2000. p.35-42.





Bambu nativo: alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o estado do Acre

Dixon G. Afonso⁽¹⁾ e Zenóbio A. G. P. G. Silva⁽²⁾

⁽¹⁾ Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC, R. das Acácias, 279 – Distrito Industrial
CEP 69920-175 – Rio Branco/AC. E-mail: dixon_ac@hotmail.com

⁽²⁾ Universidade Federal do Acre – UFAC, BR-364 Km 04 S/N – Distrito Industrial – CEP 69920-900
Rio Branco/AC. E-mail: zenobiosilva@hotmail.com

Resumo – Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso do bambu como alternativa de desenvolvimento para o estado do Acre. Para tanto, realizamos um levantamento bibliográfico de documentos, estudos e artigos científicos disponíveis sobre o tema. O trabalho, de abordagem qualitativa, considerou principalmente duas áreas com ocorrência de bambu nativo do gênero *Guadua*: a Reserva Extrativista Chico Mendes e a Floresta Estadual do Antimary. Os resultados demonstram que há uma convergência de ações institucionais que possibilitam a inclusão do bambu como uma nova fonte de economia alternativa, mas, para que isso se torne realidade, é necessário investir em pesquisas que ampliem o conhecimento sobre manejo e cultivo da planta, conhecimentos estratégicos para sua domesticação e atendimento à demanda existente, inclusive em outras regiões do Brasil, com vistas a garantir competitividade para a cadeia produtiva.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: GUADUA SPP, PRODUTO NÃO MADEIREIRO, CADEIA PRODUTIVA, NEGÓCIOS SUSTENTÁVEIS.



Native bamboo: alternative sustainable economic development for the state of Acre

Abstract – *This work aimed to evaluate the feasibility of using bamboo as a development alternative for the state of Acre. To this end, we conducted a literature review of documents, scientific studies and articles available on the subject. This work, a qualitative approach one, considered mainly two areas with occurrence of native bamboo Guadua gender: the Chico Mendes Extractive Reserve and the Antimary State Forest. Results show that there is a convergence of institutional actions which allow the inclusion of bamboo as a new source of alternative economy, but, for this to become reality, it is necessary to invest in research to extend knowledge on management and cultivation of the plant, strategic knowledge for its domestication and compliance with existing demand, including in other regions of Brazil, in order to ensure competitiveness for the supply chain.*

INDEX TERMS: GUADUA SPP, NON-TIMBER PRODUCT, SUPPLY CHAIN, SUSTAINABLE BUSINESS.

Introdução

O setor florestal tem grande importância na geração de produtos, impostos, divisas, emprego e renda na economia brasileira (Soares et al., 2008): segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2009), a participação desse segmento produtivo foi, em 2008, responsável por 3,4% do PIB nacional, correspondendo a US\$ 44,6 bilhões. Entretanto, como pontuam Santos e colaboradores (2003), o desenvolvimento do setor florestal tem se limitado, em sua maior parte, à exploração da madeira, desconsiderando os demais recursos disponíveis nos ecossistemas florestais. Alguns exemplos de produtos florestais não madeireiros (PFNM) são frutos, fibras, condimentos, óleos, resinas, seivas, ceras, gomas, folhas, sementes, fármacos, forragens e combustível, entre outros. O bambu faz parte dessa lista.

Conhecido desde a Antiguidade, quando era utilizado sobretudo na China, o bambu é uma matéria-prima disponível também na floresta amazônica. Suas características – resistência, flexibilidade, durabilidade, versatilidade, facilidade de reprodução, rápido crescimento e adaptabilidade a climas e solos diferentes – permitem que atenda àqueles que buscam materiais regio-



nais renováveis (Pereira & Beraldo, 2007). Por ser uma planta tropical perene, renovável e que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio, o bambu apresenta um grande potencial agrícola (Pereira, 2001). Outros atrativos são suas excelentes características físicas, químicas e mecânicas: o bambu é um eficiente sequestrador de carbono, podendo ser utilizado em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares e também como protetor e regenerador ambiental. Colhido, ao natural ou após processamento, pode ser empregado como elemento na construção civil e em mobiliário, artesanato, cosméticos, têxteis, papel e celulose, paisagismo, entre outros.

Na Amazônia, as florestas abertas com bambus do gênero *Guadua* cobrem cerca de 180 mil km², incluindo o oeste do estado do Amazonas, o estado do Acre, o nordeste do Peru e o norte da Bolívia (Judziewicz et al. citado por Manhães, 2008; Silveira, 2001). Trata-se da maior floresta nativa contínua de bambus do mundo.

Nesse contexto, cabe perguntarmos como podemos tornar efetivo o uso desse recurso, levando em consideração a grande diversidade de aplicações e potenciais demandas pelo bambu. O bambu nativo é efetivamente uma alternativa natural e potencial para a economia local? Quais as condicionantes para a instalação ou implantação de uma cadeia produtiva do bambu nativo? São questões que pretendemos responder neste estudo.

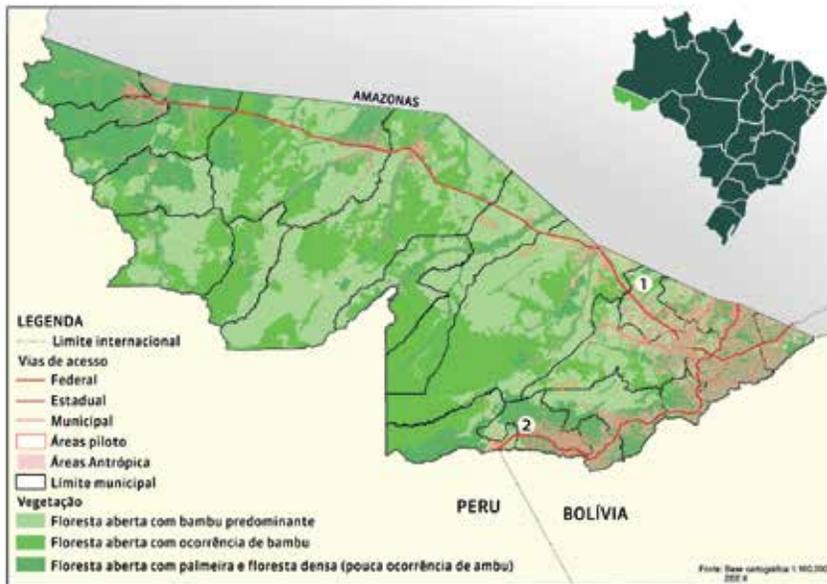
Com foco no estado do Acre, nossa pesquisa traz, por meio da análise das condicionantes envolvidas na implementação de uma política de desenvolvimento baseada numa matéria-prima nativa, a oportunidade de discutir a viabilidade técnica e econômica do uso na construção civil e no mobiliário no âmbito das áreas de ocorrência dessa planta.

Material e métodos

A área de abrangência deste trabalho foi definida a partir dos estudos realizados por Silveira (2006) e Murad (2007) em duas áreas com ocorrência de bambu nativo do gênero *Guadua*, que apresenta características morfológicas diferenciadas com potencial comercial, por ser o mais indicado para uso estrutural em sua forma natural ou processada. Concentramos-nos, portanto, na Floresta Estadual do Antimary (FEA), localizada no município de Sena Madureira (coordenadas: L19 – 574494 UTM 8968167), e na Reserva Extrativista Chico Mendes (Resex Chico Mendes), que fica no quilômetro 85 da BR 317, sentido Brasília-Assis Brasil-Ramal Santa Luzia, em Seringal Etelve (coordenadas: L19 – 0624139 UTM - 8900344).



Na figura 1, destacamos as áreas estudadas e, ainda, mapeamos como o bambu ocorre nessas e outras regiões do estado – de forma isolada ou misturada com outros tipos de vegetação. As duas áreas em destaque são as que possuem a maior ocorrência de bambu nativo, correspondendo a aproximadamente 18% do total da área florestal do estado.



Legenda: O ponto 1 representa a Floresta Estadual do Antimary e o ponto 2, a Reserva Extrativista Chico Mendes. No mapa, observamos que o bambu ocorre tanto de forma isolada quanto junto a outros tipos de vegetação. Crédito: Mapa cedido pelo Autor (2011)

Figura 1. Mapa de vegetação do estado do Acre

Neste estudo foi utilizado o método de pesquisa exploratório, por meio do levantamento bibliográfico e documental. De acordo com Gil (1995), para analisar os fatos do ponto de vista empírico, buscando confrontar a visão teórica com os dados da realidade, torna-se necessário delinear um modelo conceitual e operativo da pesquisa. Neste trabalho, a principal característica é a pesquisa bibliográfica. Outras fontes foram os estudos realizados pela Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC, 2004).

Coletamos, inicialmente, as informações sobre o bambu do gênero *Gua-**dua*, presente nas duas áreas de estudo, abordando os aspectos morfológicos e identificando seus usos e aplicações. O mapeamento dos dados foi feito com base nos mapas cartográficos produzidos pela Fundação de Tecnologia



do Estado do Acre, onde estão representadas as áreas de estudo que apresentam a ocorrência de bambus nativos. A caracterização das espécies existentes na área de abrangência do estudo, por sua vez, teve como fonte de consulta os estudos realizados por Silveira (2006) e Murad (2007), a partir dos quais foi possível avaliar, por analogia, os tipos de usos e aplicações para o bambu nativo. Por fim, avaliamos como se desenvolve atualmente a cadeia produtiva de produtos madeireiros e não madeireiros por meio de estudos realizados pelo Governo do Estado do Acre (2006). Nesse contexto, propomos, a seguir, uma linha prioritária de utilização do bambu nativo, considerando o baixo nível de conhecimento tecnológico e a infraestrutura local.

Resultados e discussão

Segundo Silveira (2006), o mapeamento da ocorrência de florestas abertas com bambus arborescentes do gênero indica que, a leste do Acre, há quase dois milhões de hectares cobertos com esse tipo de vegetação – destes, pouco mais de 50% estão concentrados nos municípios de Manoel Urbano, Xapuri e Assis Brasil. Em função da ocupação populacional, as manchas de floresta com bambu nos municípios de Rio Branco, Bujará e Porto Acre estão restritas a fragmentos florestais, enquanto em Assis Brasil, Manoel Urbano, Sena Madureira e Xapuri, as manchas ocorrem em grandes polígonos onde predominam florestas contínuas.

USOS E APLICAÇÕES DO BAMBU - No estado do Acre, identificamos que o bambu foi utilizado em três construções locais importantes: o stand do SEBRAE/AC na Feira do Empreendedor (ExpoAcre), em 2005; o Parque Ambiental de Sena Madureira, de 2007; e o Quiosque do Parque Tucumã, construído em 2014. Nas duas primeiras obras, foram utilizados colmos de bambu coletados às margens do rio Purus, no município de Sena Madureira, fronteira com o estado do Amazonas. Na última, utilizou-se matéria-prima da Resex Chico Mendes e do Projeto Bandeirantes, nos municípios de Xapuri e Porto Acre, respectivamente.

DIVERSIDADE - As principais espécies presentes nas áreas em estudo são *Guadua sacocarpa*, que cobre grandes extensões, sobretudo na região de Assis Brasil, e *Guadua weberbaueri*, que ocorre com maior frequência na FEA (Silveira, 2006).



Tabela 1. Características morfológicas do bambu nativo

Espécie	Características
<i>Guadua weberbaueri</i> *	Altura de 20-25 metros; diâmetro de 6-8 cm; lâminas foliares com formato elíptico-lanceoladas, de 13-17 cm de comprimento por 2,0-3,5 cm de largura; ocorrência de 1947-2884 colmos p/hectare.
<i>Guadua spp</i> **	Altura de 14,5-35 metros; diâmetro médio de 6,2 cm; ocorrência de 1594 colmos p/hectare.

FONTE: SILVEIRA* (2006) E FUNTAC** (2010). ADAPTADO PELO AUTOR.

Segundo Silveira (2006), dentre as seis espécies de bambu arborescentes do gênero *Guadua* registradas no Banco de Dados da Flora do Acre, até o momento foram identificadas quatro espécies (*Guadua weberbaueri*, *G. sacocarpa*, *G. angustifolia* e *G. aff. angustifolia*) e três morfotipos (*Guadua* sp.1, *Guadua* sp.2 e *Guadua* sp.3). As áreas de estudo estão localizadas em nove municípios, com abrangência inclusive nas áreas de estudo do presente trabalho (Sena Madureira e Assis Brasil).

PRODUTOS MADEIREIROS E NÃO MADEIREIROS - Segundo o Governo do Acre (2006), 88% do estado encontram-se sob a condição de floresta. De forma geral, o Acre possui reserva florestal capaz de sustentar o crescimento da atividade madeireira. Por outro lado, observa-se que as regiões do Alto e do Baixo Acre, juntas, representam 69% da área de desmatamento do estado e, ao mesmo tempo, são responsáveis por 87% de todo o volume autorizado para extração em planos de manejo florestal, respondendo por 66% de toda produção madeireira do estado (tabela 2).

Tabela 2. Estimativa da distribuição das florestas do Acre, por regime de propriedade, por regionais

REGIONAL	ÁREA FLORESTAL (HA)	UCS PROT. INTEGRAL	TERRA INDÍGENA	TOTAL COMUNITÁRIAS	FLORESTAS PÚBLICAS	FLORESTAS PRIVADAS/ NÃO DISCRIMINADAS
Alto Acre	1.291.422,71	80.076,00	392.159,00	500.788,50	0	318.399,21
Baixo Acre	1.299.331,53	0	0	823.224,30	66.168,00	409.939,23
Purus	3.922.480,02	695.303,00	263.159,00	1.158.284,20	425.332,00	1.380.401,82
Tar./Env.	5.166.282,65	0	2.098.591,00	390.344,65	486.319,00	2.191.028,00
Juruá	3.046.757,96	846.633,00	224.823,00	994.766,10	0	980.525,86
Total	14.726.274,87	1.622.012,00	2.978.732,00	3.867.417,75	977.819,00	5.280.294,12

FONTE: ACRE (2006)

Em termos de tendências e cenários, a atividade florestal obteve crescimento médio de 13% nos últimos cinco anos, transformando-se na atividade econômica mais importante do Acre – responsável por 12,8% do Valor Bruto da Produção – VBP.

A borracha (*Bertholletia excelsa*) e a castanha (*Hevea brasiliensis*) são os dois principais produtos da cadeia extrativista (Acre, 2006). Em menor escala, são importantes também os óleos, polpa e sementes, cuja geração de renda é relevante para as comunidades locais. No Baixo Acre, por exemplo, a comercialização de óleo de copaíba, sementes de andiroba, sementes de murmuru e frutos de açai *in natura* rende ao seringueiro, em média, R\$ 209,90 por hectare de área produtiva. No Alto Acre, para o murmuru, o açai e a copaíba, o rendimento chega a R\$188,90/ha (Acre, 2006).

Tabela 3: Tabela de preços de produtos não madeireiros praticados no mercado local, 2003

Matéria-prima	Unidade	Preço (R\$) (*)	Renda líquida anual (família)
Açaí	Kg	0,50	NI(**)
Borracha / látex	Kg	0,70	4.200,00
Castanha	Kg	3,50	5.292,00 (***)
Murmuru (fruto)	Kg	0,50	NI
Óleo de Murmuru	L	10,00	NI
Óleo de Andiroba	L	15,00	NI
Sementes de Amarelão e Bálsamo	Kg	40,00	NI
Sementes de Cedro e Mogno	Kg	90,00	NI
Sementes de Cerejeira e Sumaúma	Kg	80,00	NI
Sementes de Cumarú-ferro	Kg	15,00	NI
Sementes de Jarina	Kg	2,50	NI
Sementes de Jatobá e Maçaranduba	Kg	15,00	NI
Sementes de Pau D'Arco Amarelo	Kg	120,00	NI
Sementes de Tauari	Kg	30,00	NI

FONTE: ACRE, 2006. ADAPTADO PELO AUTOR.
(*) DADOS COLETADOS EM 2003 (**) NI – NÃO IDENTIFICADO (***) DADO COLETADO EM 2005

Ainda de acordo com o Governo do Estado, o VBP Florestal¹ obteve, no período de 1998 a 2003, um crescimento de, em média, 8,5% ao ano, enquanto o total do VBP do estado obteve uma taxa média anual de 4,6%. Apesar do grande potencial, a escala de comercialização de produtos não madeireiros

1 Resultado da multiplicação do preço dos produtos florestais pela respectiva quantidade produzida.

ainda é muito baixa e, por isso, acreditamos ser possível inserir outras matérias-primas, de potencial comercial ainda pouco conhecido, nessa cadeia produtiva, sendo o bambu uma dessas matérias-primas.

MERCADO - Hoje, no mundo, a China é o grande produtor de bambu industrializado, obtendo um aumento na comercialização de US\$ 13,1 bilhões em 2010 para US\$ 19,5 bilhões em 2012. Na Índia, a expectativa da comercialização de produtos industrializados foi de US\$ 4,35 bilhões em 2015, um incremento extraordinário em relação a 2003, quando o valor foi de US\$ 34 milhões. A União Europeia, os Estados Unidos e o Japão respondem coletivamente por 72% do total da importação de bambu no mundo. Outros importantes importadores são Canadá, Singapura, Austrália, Rússia e Coreia (INBAR, 2014).

Globalmente, os maiores mercados para o bambu são o de artesanato, que movimenta aproximadamente US\$ 3 bilhões ao ano; o de brotos de bambu (US\$ 1,5 bilhão) e o de mobiliário (US\$ 1,1 bilhão). Estima-se que o mercado mundial de bambu deva crescer para US\$ 15 a 20 bilhões em 2017 (DFRS, 2010).

No Brasil, o valor total da produção do setor de base florestal em 2007 foi de R\$ 44,6 bilhões, ou seja, 3,4% do PIB nacional. Nesse valor estão incluídos celulose, papel, madeira industrializada sob todos os processos, móveis, siderurgia a carvão vegetal e produtos florestais não madeireiros (ABIMCI, 2009). Do total da produção, R\$ 8,8 bilhões foram para exportação, representando 5,5% do montante total da exportação no ano de 2007. Porém não estão inclusos no referido relatório dados específicos para o bambu.

Segundo Manhães (2008), a comercialização do bambu no país ainda é dispersa e informal, mas podem-se perceber regiões com potencial de desenvolvimento em determinado setor, de acordo com as características locais. Notadamente, as regiões Sul e Sudeste são as maiores fornecedoras de bambu. No Acre, por sua vez, não há informações oficiais sobre a comercialização de bambu, uma vez que os maiores demandadores são os artesãos locais, que extraem diretamente sua matéria-prima nas áreas urbanas ou rurais próximas, sem nenhum custo.

Temos, no entanto, alguns dados pontuais. Na Resex Chico Mendes, foram comercializadas, em 2011, varas de bambu ao preço de R\$ 10,00², ven-

2 Os custos com frete, seguro e desembaraço fiscal foram de responsabilidade do comprador. Ao fornecedor coube a retirada (corte), armazenagem e embarque das varas em transportadora indicada pelo comprador.

didadas a um viveirista de São Paulo. O preço foi o mesmo praticado em 2005 para pagamento pelos colmos coletados às margens do rio Purus, usados na construção das edificações na Feira do Empreendedor, organizada pelo SEBRAE/AC. Os preços apurados sugerem uma estagnação de mercado, uma condição que se deve, principalmente, à falta de conhecimento do valor de mercado de bambus por parte dos produtores locais.

Tabela 4. Preço de varas de bambu, na região sul/sudeste, em 2008

Espécie	Diâmetro (cm)	Comprim. (m)	Tratamento	Estado	Preço/dúzia (R\$)
<i>Phyllostachys pubescens</i> (mossô)	7 a 9	3,40	Cozido	SP	80,00
	+ 10	3,40	Cozido	SP	120,00
	+ 10	7,00-8,00	Sem trat.	SP	100,00
	qualquer	8,00	Cozido a vapor carborato	SP	432,00
<i>Dendrocalamus giganteus</i> (bambu gigante)	12 a 20	3,40	Cozido	SP	200,00
	12 a 20	7,00-8,00	Sem trat.	SP	200,00
	qualquer	8,00	Cozido a vapor carborato	SP	720,00
	qualquer	10,00-12,00	Autoclave	RJ	720,00
	qualquer	7,00-8,00	Sem trat.	RS	840,00
<i>Phyllostachys áurea</i> (cana-da-índia)	2,00 a 5,00	3,40	Cozido	SP	15,00
	qualquer	8,00	Cozido a vapor octoborato	SP	30,00
	qualquer	7,00-8,00	Sem trat.	RS	25,00
<i>Guadua angustifolia</i>	qualquer	10,00-12,00	Autoclave	RJ	720,00
<i>P. edullis</i>	qualquer	7,00-8,00	Sem trat.	RS	120,00

FORNE: MANHAES (2008)

MUDAS - Segundo Manhães (2008), normalmente muitos viveiros e hortos florestais ainda não produzem mudas de bambu e, quando o fazem, são de bambus ornamentais (*gracilis* ou *mossô*), cujo preço varia de R\$ 15,00 a R\$ 20,00. No Acre, ainda não se tem registro de atividades de viveiristas que trabalhem com espécies de bambu nativo. De uma forma muito incipiente, identificamos a utilização de bambu do tipo orquídea em paisagismo de jardins.

Estudos em desenvolvimento pela Embrapa/AC, em parceria com o Laboratório de Sementes Florestais Nativas da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, buscam identificar protocolos para a reprodução vegetativa ou da cultura de tecidos. Há um interesse particular na reprodução *in vitro*, que possibilitará o fornecimento de material de alta qualidade e padrão industrial ao mercado.

Tabela 5. Preço de mudas de bambu no Brasil em 2011

Espécie	Preço (R\$)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	12,00/un
<i>Dendrocalamus minor</i>	25,00/un
<i>Dendrocalamus calostachyus</i>	25,00/un
<i>Dendrocalamus barbatus</i>	22,50/un
<i>Dendrocalamus asper</i>	25,00/un
<i>Weavers bamboo</i>	25,00/un
<i>Buddha belly ventricosa</i>	25,00/un
<i>Orquídea bambu</i>	9,00/un
<i>Nandina</i>	15,00/un
<i>Candy cane damarapa</i>	25,00/un
<i>Phyllostachys nigra</i>	25,00/un
<i>Gigantochloa atrovioleacea</i>	25,00/un
<i>Membranaceus</i>	22,50/un
<i>Chocolate</i>	25,00/un

FONTE: SITE WWW.MFRURAL.COM.BR (2011)

ARTESANATO - O Brasil tem hoje cerca de 8,5 milhões de artesãos, responsáveis por um movimento financeiro anual de R\$ 50 bilhões (Portal Brasil, 2015). Não existem estimativas sobre artesãos que trabalham com bambu, mas sabe-se que existem em grande quantidade. Um levantamento realizado por Schwarzbach (2008), no estado do Paraná, indica a utilização de bambus para os mais diversos fins de artesanatos e, por isso, acreditamos ser possível prospectar o uso do bambu nativo na elaboração de produtos de alto valor agregado com aplicação em *design* e *marketing*.

Tabela 6 - Artesanatos produzidos e comercializados no estado do Paraná em 2006

Espécie	Parte utilizada	Forma de utilização	Preço de venda
<i>Phyllostachys</i> spp.	Colmo	Trançado para cestaria	Min. R\$ 5,00 Máx. R\$ 30,00
<i>Phyllostachys</i> spp.	Colmo	Móveis	A partir de R\$ 80,00
<i>Phyllostachys</i> spp.	Colmo	Talheres	Min. R\$ 2,50 Máx. R\$ 3,00
<i>Dendrocalamus</i> spp.	Colmo	Móveis e molduras	ND
Bambu Rei e Taquarinha (<i>Olyra</i> spp.)	Colmo	Artesanatos diversos (talheres, bengala, castiçal, porta-vinho, porta-retratos, porta-joias, fontes, luminárias, revisteiro, porta-canetas)	Min. R\$ 20,00 Máx. R\$ 800,00
<i>Merostachys</i> spp. e <i>Olyra</i> spp.	Colmo	Acabamentos para artesanato feitos com fibra de bananeira	ND
<i>Merostachys</i> spp. e <i>Dendrocalamus</i> spp.	Colmo	Artesanato sob encomenda (treliças, tochas, porta-facas, trem, luminárias)	Min. R\$ 5,00 Máx. R\$ 50,00
<i>Merostachys</i> spp.	Colmo	Incensário	A partir de R\$ 25,00
<i>Merostachys</i> spp.	Colmo	Móveis	Depende do acabamento

FORTE: MANHAES (2008)

PAPEL E CELULOSE - No Brasil, a espécie *Bambusa vulgaris*³ tem sido utilizada para fabricação de celulose por duas empresas de grande porte, localizadas nos estados de Pernambuco e Maranhão, ambas pertencentes ao Grupo Industrial João Santos (Manhães, 2008). Dantas et al. (2005) afirmam que as características de resistência física do bambu para a fabricação de celulose são superiores às obtidas pelas matérias-primas tradicionalmente utilizadas, como as oriundas de espécies florestais. Além disso, o bambu é o material mais indicado para embalagens de alimentos, medicamentos, produtos frigorificados, detergentes, entre outros, pois sua fibra virgem evita a contaminação dos produtos. Segundo Manhães (2008), o bambu apresenta celulose de fibras longas e estreitas, o que faz com que se entrelace mais, conferindo aos produtos características físicas diferenciadas.

3 A *Bambusa vulgaris* é uma espécie exótica, de fácil propagação e resistente, com ocorrência no estado do Acre, principalmente na área urbana.

O consumo mundial de pastas de celulose atingiu 193 milhões de toneladas em 2008 – um decréscimo de 1,2% em relação a 2007, seguindo uma já bem estabelecida tendência de baixo crescimento médio no setor (1,1% ao ano) entre 1997 e 2008. Já a capacidade instalada mundial para a celulose de mercado⁴ somou, em 2009, 57,1 milhões de toneladas ao ano, nos quais o Brasil tem uma participação de 9,2 milhões de toneladas ano, com fibras curtas (Biazus et al., 2010).

A produção brasileira de celulose atingiu 12,8 milhões de toneladas em 2008. Em média, a produção aumentou em 6,2% ao ano entre 1997 e 2008, sendo 7,9% para as pastas de celulose de fibra curta e apenas 1,6% ao ano para os demais tipos (pasta mecânica, pasta química não branqueada, pasta semiquímica e pasta de outras origens). No mesmo período, a produção de celulose de fibra longa decresceu 9,6%. Em 2009, o Brasil importou cerca de 350 toneladas de pasta de celulose de fibra longa branqueada, um gasto de US\$ 208 milhões (Biazus et al., 2010). Existe, portanto, uma demanda no país pelas pastas de celulose de fibras longas, que pode ser contemplada com o processamento do bambu, inclusive atendendo às indústrias que já atuam com esse tipo de matéria-prima no mercado.

CARVÃO - Na última década, o consumo de carvão atingiu seu ponto máximo em 2005, quando foram produzidos e consumidos mais de 38 milhões de metros de carvão⁵. O consumo de matéria-prima nativa para combustão é bastante elevado.

Segundo Dantas (2005), o bambu pode servir como insumo para a produção de carvão vegetal e é considerado de excelente qualidade. De acordo com Manhães (2008), o bambu *Guadua angustifolia* é o que possui o menor Poder Calorífico Superior (PCS)⁶, mas, na média, os bambus ficam muito próximos do PCS do *Eucalipto*, com índice de 4.356,6 kcal/kg.

4 As pastas de celulose constituem a principal, mas não a única, matéria-prima para a fabricação do papel. As pastas e a celulose são denominadas de mercado quando se destinam à comercialização, diferenciando-se, assim, daquelas consumidas nas linhas de produção integradas.

5 Metro de carvão – representa o volume de carvão que cabe em um cubo de um metro de aresta.

6 Poder Calorífico Superior – consiste na relação entre a quantidade de calor (Q) libertada durante a combustão da massa (m) de uma substância e a referida massa.

Tabela 7. Valor calorífico do carvão de alguns bambus e eucalipto

MATERIAL	PODER CALORÍFICO SUPERIOR – PCS (KCAL/KG)
<i>E. urophylla</i> (Híbrid)	4.531
<i>B. vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	4.750
<i>B. tuldooides</i>	4.473
<i>B. vulgaris</i>	4.219
<i>D. giganteus</i>	4.462
<i>G. angustifolia</i>	3.879

FORTE: RIBEIRO (2005) CITADO POR MANHAES (2008)

A produção de carvão vegetal a base de bambu é um setor com alto potencial para o estado do Acre, atendendo inicialmente à demanda interna de energia nas indústrias de base. Para incorporar esse uso em nossa cultura produtiva, no entanto, são necessários mais investimentos em pesquisa.

PAINÉIS E CHAPAS - Biazus et al. (2010) afirmam que, em 2008, a indústria mundial de painéis de madeira faturou cerca de US\$ 98 bilhões, distribuídos entre madeira reconstituída (US\$ 57,9 bilhões) e madeira processada mecanicamente (US\$ 40,3 bilhões). Esses valores correspondem a uma produção de painéis na ordem de 246,9 milhões de m³, sendo 69% referentes aos painéis de madeira reconstituída (169,5 milhões de m³) e 31% referentes aos painéis de madeira processada mecanicamente. Na evolução da produção mundial de painéis de madeira, destacam-se o crescimento médio de 5,1% ao ano entre 1997 e 2008 e o aumento da participação do MDF (Medium Density Fiberboard) no total produzido, que teve um crescimento médio de 16,4% ao ano no mesmo período, passando de 8%, em 1997, para 23%, em 2008. Nesse mesmo estudo constatou-se que a produção brasileira de painéis de madeira atingiu 7,8 milhões de m³ em 2008, sendo 34% de compensados, 33% de MDP (Medium Density Pannel)⁷, 26% de MDF e 7% de chapas de fibra. Em média, a produção brasileira de painéis de madeira aumentou em 7,6% ao ano, sendo 10,3% ao ano para os painéis de madeira reconstituída e 3,9% ao ano para os compensados.

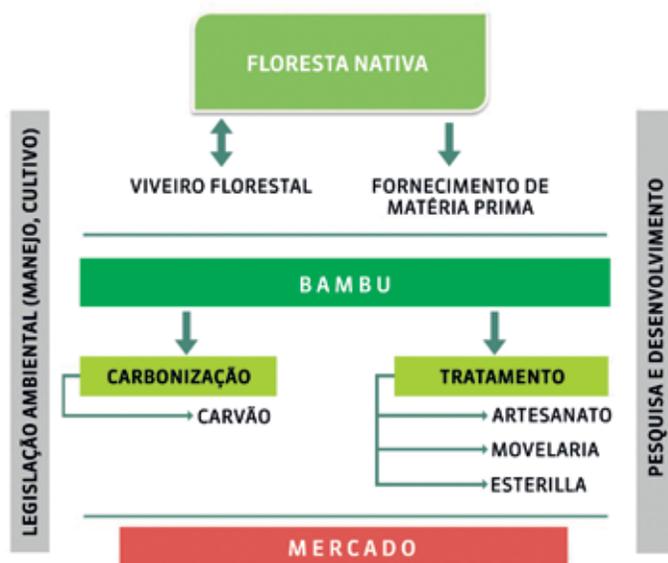
Um produto alternativo recém-introduzido no mercado asiático é o Bambu Laminado Colado (BLC). Segundo Barelli (2009), o BLC já vem conquistando o mercado ocidental por apresentar uma ampla possibilidade de aplicações e possuir qualidade, além de respeitar vários dos quesitos da sustentabilidade.

7 MDF, MDP e Chapa de Fibra – Todos são fabricados a partir do pinus e do eucalipto, originários de reflorestamento. A diferença está na densidade de suas partículas, já que esses materiais são obtidos a partir de sua prensagem ou da extração de fibras de madeira.

ANÁLISE DA ESTRUTURA DA CADEIA PRODUTIVA - O caráter multidisciplinar e sistêmico é característica fundamental da análise de uma cadeia produtiva, pois as questões que dizem respeito à cadeia encontram-se tanto no âmbito tecnológico quanto no econômico, gerencial, institucional e sociológico, requerendo uma visão global da cadeia e de todos seus segmentos (Bassani et al., 2001).

Para Lopes (2008), os aspectos produtivos do bambu estão diretamente relacionados aos aspectos sociais de determinada região. No município de Fazenda Rio Grande (PR), por exemplo, foi implantada uma cadeia produtiva que envolve cerca de 130 famílias no desenvolvimento de produtos de bambu, gerando emprego e renda e regenerando o meio ambiente. São utilizadas diversas possibilidades produtivas do bambu, desde o tratamento silvicultural, com estabelecimento de florestas plantadas, até as fases de processamento tecnológico, na área alimentícia, de energia ou da indústria. O autor observa que a cadeia produtiva do bambu tem semelhanças com a estrutura da cadeia produtiva da madeira, mas o que a diferencia é a diversificação de sua produção.

Avaliando o atual estágio organizacional do mercado de produtos madeireiros e não madeireiros no estado do Acre e confrontando com as experiências mencionadas neste trabalho, sugere-se que a estrutura básica inicial para uso do bambu nativo tenha como base a capacidade produtiva instalada.



CRÉDITO: ELABORADO PELO AUTOR (2011)

Figura 2. Proposta de cadeia produtiva para o bambu nativo

Na proposta apresentada, a floresta nativa deverá suprir o mercado com a matéria-prima, sendo que o viveiro florestal terá uma função importante na reposição, manutenção e conservação do ambiente natural das espécies. Conforme mencionamos anteriormente, por ser uma primeira ação de organização da cadeia produtiva, sugerimos que os produtos gerados neste momento não visem ao processamento de modo industrial, e sim a demandas focais, restritas ao mercado local, com exceção do fornecimento de mudas e *esterillas*⁸, que possuem mercado em outros centros.

Conclusões

1. O bambu se apresenta como uma matéria-prima com grande potencial econômico, pela sua ocorrência em grande escala e pela sua diversificada linha de aplicações. Sua localização também é um diferencial, por estar próxima às principais rodovias estaduais e federais que cortam o Acre, facilitando o escoamento da produção.

2 As características do bambu nativo podem fazer desse material um substituto para as mais diversas cadeias produtivas existentes. Para isso, em um estágio inicial, faz-se necessário fortalecer a cultura do uso do bambu com ações básicas, como o manejo e cultivo da espécie, e, posteriormente, incluir no mercado a produção de mudas, a comercialização de varas e/ou *esterillas*, a produção de carvão *in natura* e aplicações no artesanato.

3. Nesse contexto, o ambiente institucional, com a convergência de ações institucionais coordenadas pela Rede Brasileira do Bambu, favorece a discussão de um modelo de cadeia produtiva. Para que essa iniciativa dê frutos, no entanto, é preciso investir em pesquisas sobre formas de manejo e cultivo das espécies regionais, além da capacitação de produtores rurais no aproveitamento do bambu nativo.

Referências

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Estudo setorial. Curitiba, 2009. Ano base 2008. 43p. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=8&Itemid=7>. Acesso em 14 dez. 2015.

8 Esteira de bambu.

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II: Documento Síntese – Escala 1:250.000**. Rio Branco: SEMA, 2006. 354 p.
- BARELLI, B. G. P. **Design para a sustentabilidade: modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em *Design* da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *campus* de Bauru, como exigência para obtenção do título de Mestre em *Design*. Bauru/SP, 2009. 152 p.
- BASSANI, C. A. B.; ARAÚJO, J. A.; LAGARES, L. M.; SOARES, M. M.; BARRADAS, M. **Metodologia do Programa SEBRAE: Aquicultura**. Brasília: Sebrae/NA, 2001.
- BLAZUS, A.; da HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: celulose**. BNDES Setorial 32, p. 311-370. 2010.
- BLAZUS, A.; da HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial 32, p. 49-90. 2010.
- DANTAS, A. B.; MILITO, C. M.; LUSTOSA, M. C. J.; TONHOLO, J. **O uso do bambu na construção do desenvolvimento sustentável**. Maceió: Instituto do Bambu, 2005. 84p.
- DFRS. Review of Developed Western Markets for Bamboo and Rattan Commodities of Nepal. **Market Development of Bamboo and Rattan Products with Potential (MDBRPP) Project**. Department of Forest Research and Survey, Kathmandu, Nepal. 2010.
- EMBRAPA. PICHELLI, K. e MASSETO, G. Encontro Brasileiro de Silvicultura reúne setor responsável por 4,5% do PIB nacional. Site: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1713635/encontro-brasileiro-de-silvicultura-reune-setor-responsavel-por-45-do-pib-nacional>. Em 01/12/2015.
- Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC. **Manejo Florestal Sustentável na Amazônia Brasileira: Floresta Estadual do Antimary – Acre – Brasil/Projeto PD 94/90 – ITTO**. FUNTAC, Rio Branco. 2004. 201p.
- GIL, A. C. **Técnicas de pesquisa em economia**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1995. 195p.
- INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN – INBAR. **International trade of bamboo and rattan 2012**. INBAR, Beijing. 2014. 60p.
- LOPES, W. J. A cultura do bambu: a formação de uma cadeia produtiva alternativa para o desenvolvimento sustentável. Monografia submetida ao Departamento de Ciências Econômicas para obtenção de carga horária na disciplina CNM 5420 – Monografia. Florianópolis, 2008. 92p.
- MANHÃES, A. P. Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008. 39p.
- MURAD, J. R. de L. As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2007. 120p.
- PEREIRA, M. A. dos R. **Bambu: espécies, características e aplicações**. Departamento de Engenharia Mecânica/UNESP. Apostila. Bauru. 2001. 56p.
- PEREIRA, M. A. dos R.; BERVALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2007. 240p.

- SANTOS, A. J.; HILDEBRAND, E.; PACHECO, C. H. P.; PIRES, P. T. L.; ROCHADELLI, R. Produtos não madeireiros: conceituação, classificação, valoração e mercados. **Revista Floresta** 33(2), 215-224. 2003.
- SCHWARZBACH, L. L. C. Bambus e taquaras: avaliação e perspectivas de uso sustentável. Dissertação apresentada no curso de Pós-Graduação em Agronomia na Universidade Federal do Paraná para obtenção do título de Mestre. Curitiba, 2008. 60 p.
- SILVEIRA, M. A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. Tese de Doutorado, UNB, Brasília – DF, 2001.
- SILVEIRA, M. **Oferta de bambu (*guadua spp.*) nos vales dos rios Acre-Purus e estudos populacionais como base para a elaboração de um plano de manejo piloto do recurso.** Relatório apresentado ao SEBRAE/AC. Rio Branco, 2006. 17 p. (não publicado)
- SOARES, N. S.; SOUSA, E. P. de; SILVA, M. L. da. Importância do setor florestal para a economia brasileira. In: **Anais** do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, 2008. 16 p.

Bambu como recurso para tecnologias sociais na Zona da Mata mineira



Emi Rainildes Lorenzetti⁽¹⁾, Thiago Kimmerling Campos⁽¹⁾, André Bacic Olic⁽¹⁾, Pedro Cretton de Oliveira⁽¹⁾ (in memorian), Rodrigo de Oliveira Almeida⁽²⁾, Rafaelly Calsavara Martins⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba. Av. Dr. José Sebastião da Paixão, s/n. Bairro Lindo Vale, CEP 36180-000, Rio Pomba – MG. E-mails: emi.lorenzetti@ifsudestemg.edu.br, thiagokcampos@gmail.com, anbalic@hotmail.com, pedroco@terra.com e rcalsavara@yahoo.com.br

⁽²⁾ Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). Rua José Barbosa de Barros, 1780, 18610-307 Botucatu – SP. E-mail: rodrigooliveiraufv@gmail.com

Resumo – Localizada na Zona da Mata mineira, a microrregião de Ubá possui predominância de pequenas propriedades rurais baseadas em agricultura de subsistência. Os agricultores possuem baixo nível tecnológico e adotam práticas tradicionais com materiais alternativos. O bambu, por exemplo, desempenha importante papel na cultura regional, embora seu uso continue limitado pela falta de conhecimento. Para delinear a importância desse recurso, produziu-se um levantamento das várias formas de utilização tradicional do bambu e, em seguida, foram realizados cursos que abordaram a difusão da planta como tecnologia social. Foram avaliadas alternativas de tratamentos voltados à preservação dos colmos (tipo de caule típico das bambúseas) a partir de critérios como acessibilidade ao pequeno produtor, baixo risco de contaminação ambiental e efetividade destacada na literatura. Como forma de testagem, o material ficou exposto ao ataque de uma população natural de brocas e teve a perda de massa monitorada, com destaque para os resultados obtidos pela técnica de cozimento em hidróxido de sódio. O trabalho evidenciou a importância de melhorias na exploração do bambu associadas à difusão de conhecimentos e incentivo à pesquisa em várias áreas, principalmente em relação ao tratamento, fator limitante para o sucesso da adoção e ampliação do uso do material.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: EXTENSÃO RURAL, USO TRADICIONAL, TRATAMENTOS PRESERVATIVOS, *DENDROCALAMUS GIGANTEUS*.

Bamboo as a resource to social technology at zona da mata of Minas Gerais

Abstract – Located at zona da mata of Minas Gerais, the microregion of Ubá is predominantly composed of small rural properties based on subsistence agriculture. The farmers have low level of technology, using traditional techniques to deal with alternative materials such as bamboo. Bamboo, for example, plays an important role in the regional agriculture, although its use is still limited due to lack of knowledge. To show the importance of this resource, we performed a data collection on the traditional uses this material and then several courses which approached the dissemination of bamboo as a social technology were held. Different treatments of bamboo preservation (node and internode) were performed. Treatments were based on the accessibility to the small farmer, low risk of environmental contamination and effectiveness reported in scientific papers. As part of the testing, the material was exposed to the attack of a natural population of wood borers and the loss of mass of the material was monitored. The best treatment was the baking in sodium hydroxide. This study shows the importance of improvements in the exploration of this resource (bamboo), together with the dissemination of knowledge and the incentive to research in several areas, mainly the treatment of material, a limiting factor for its success.

INDEX TERMS: RURAL EXTENSION, TRADICIONAL USE, PRESERVATIVE TREATMENTS, DENDROCALAMUS GIGANTEUS.

Introdução

O estado de Minas Gerais divide-se em 12 mesorregiões, segundo o IBGE. Uma dessas mesorregiões, a Zona da Mata, é composta por sete microrregiões e 142 municípios. O presente estudo foi realizado na microrregião de Ubá, que possui uma área de 3.593,648 km² e é compreendida por 17 municípios (Astolfo Dutra, Divinésia, Dores do Turvo, Guarani, Guidoval, Guiricema, Mercês, Piraúba, Rio Pomba, Rodeiro, São Geraldo, Senador Firmino, Silverânia, Tabuleiro, Tocantins, Ubá e Visconde do Rio Branco). A região de estudo encontra-se na bacia hidrográfica do Rio Pomba, no domínio morfoclimático (combinação entre diversos elementos da natureza) de Mares de Morros Florestados (Ab'Sáber, 2003). O maior centro urbano é Ubá, com



população estimada de 210.000 habitantes em 2014 (IBGE, 2015). A economia industrial da região é moveleira, surgida após a queda do setor de fumo (Oliveira et al., 2010), corresponde a mais de 50% da renda gerada. Contudo, a maioria dos outros municípios possui população de até 20.000 habitantes e economia dependente da área rural ou embasada nas atividades a ela relacionadas. Foco do presente estudo, o município de Rio Pomba, apesar de mais velho, possui população estimada de pouco mais de 17.000 habitantes e produção agrícola diversificada com foco na exploração leiteira (IBGE, 2015).

No processo de ocupação da Zona da Mata, o povoamento concentrou-se nos vales, deixando florestadas as áreas fortemente onduladas ao redor. No entanto, nessas áreas a mata nativa foi em grande parte substituída por cultivos de grande importância histórica, como café e fumo (Valverde, 1958) e pastagens, com predominância de gado leiteiro.

A região é marcada pelas pequenas propriedades rurais e emprego de pouca tecnologia, com práticas essencialmente convencionais e ligadas à Revolução Verde (Andrades & Gamini, 2007), como o uso intensivo de agrotóxicos. Também se observa a adoção de práticas tradicionais que fazem uso de materiais alternativos, tanto em construções rurais quanto na produção de instrumentos de lida com o campo – com destaque especial para o emprego do bambu. Nas comunidades rurais com baixa circulação de dinheiro, como é o caso da região estudada, a planta aparece como solução para parte das demandas por materiais de construção.

Os bambus (espécies da subfamília Bambusoideae, família Poaceae) são mais abundantes na Ásia (67% do total), mas também são comuns nas Américas (que respondem por 30% do total mundial) (Hidalgo-López, 2003). No Brasil, os números mais recentes mostram a existência de 267 espécies nacionais distribuídas em 45 gêneros, 160 delas endêmicas (Filgueiras et al., 2013). Em 2004, Filgueiras e Santos Gonçalves realizaram um estudo detalhado sobre gramíneas basais e bambus com espécies do Brasil inteiro. O destaque foi o bioma mata atlântica, que apresentou a maior diversidade – e muitas das espécies citadas neste trabalho de referência, inclusive, podem ser observadas na área do presente estudo.

Na maioria das propriedades rurais, o bambu é encontrado como nativo ou até cultivado há longa data. Das espécies nativas, pouco se conhece quanto ao seu potencial de uso, sendo grande parte da matéria-prima empregada advinda de espécies há tempos cultivadas. A maioria delas é exótica, de origem asiática, trazida pelos portugueses desde os tempos coloniais, como é o caso de *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *D. giganteus* e *Phyllostachys aurea*. Na Ásia, essas espécies são em geral empregadas pela



população de baixa renda em construções para área rural e para fabricação de varas de pescar, varas para guarda-chuvas e instrumentos musicais. Secas, são utilizadas para elaboração de cercas, cabanas e esteiras, entre outros (Das et al., 2008). Usos muito semelhantes a esses também são comumente apresentados no país e foram encontrados na área de estudo.

Quando destinados para fins de artesanato, movelaria ou elemento estrutural de bioconstruções, produtos elaborados a partir de bambu geralmente requerem algum tipo de proteção, pois se trata de um material natural suscetível ao ataque de insetos e fungos. Sem tratamento, os bambus têm vida útil curta, na maioria dos casos não superando três anos, o que muitas vezes desvaloriza seu emprego e o coloca como matéria-prima inferior.

Apesar de conhecimentos populares sobre manejo adequado de bambus terem se desenvolvido nas sociedades em que a matéria-prima ganhou maior importância em tempos pré-industriais, as transformações tecnológicas e mudanças de hábitos desencadeados com maior intensidade desde meados do século passado levaram ao gradual abandono desses saberes. Com a ausência de conhecimentos técnicos, inclusive os tradicionais, a potencialidade do bambu acaba subutilizada. O manejo inadequado imprimiu ao bambu o estigma de material de baixa qualidade, reservado às comunidades marginalizadas, que o adotam por impossibilidade financeira de acessar outros materiais construtivos industrializados.

Agentes que causam degradação no bambu podem ser tanto de origem biótica como abiótica. Dentre os do primeiro tipo destacam-se insetos e fungos, que atacam o bambu por conta das reservas de amido e outros carboidratos. Já os fatores abióticos incluem intemperismo, fogo, variação de umidade, temperatura, tudo que provoque danos mecânicos no material, como rachaduras, trincas e o próprio desgaste das peças a partir do uso que se faz delas (Bhawan & Marg, 2006). A broca *Dinoderus minutus*, inseto que pertence à ordem Coleoptera, família Bostrichidae, possivelmente é o agente que traz maior prejuízo ao material (Colla et al., 2011).

Existem, no entanto, diversos métodos para preservar o bambu, que consistem em alterações químicas (produzidas por processos passivos, como cura na moita, e ativos, como *boucherie*) e físicas. Tais procedimentos são utilizados para tornar o material menos atrativo à ação de microrganismos e mais resistente a eventos degradadores. Algumas das técnicas se inserem num contexto de conhecimentos tradicionais: foram se constituindo empiricamente ao longo do tempo e ainda hoje se encontram em uso, basicamente pela simplicidade de operação. Por outro lado, produtos químicos industrializados têm larga aplicação em tratamento de madeiras em geral (Galvão et

al., 2004; Moreschi, 2013), mas esse tipo de solução química geralmente possui elementos tóxicos na sua formulação.

Recentemente o país oficializou a chamada “lei do bambu” (lei nº 12.484/2011), que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB). Apesar de definir apenas diretrizes gerais, a nova lei é um avanço histórico e um passo importante no sentido de regulamentar a produção de bambu e transformá-la em ativo ambiental para desenvolvimento socioeconômico local, como é o caso da região de estudo. O governo federal procura, com a lei, incentivar a transformação dos bambus brasileiros em cultivo capaz de gerar emprego, renda e até créditos de carbono.

Com o presente trabalho, objetivou-se resgatar os conhecimentos a respeito de diferentes técnicas de cultivo, manejo e transformação do bambu. Pretende-se, ainda, colaborar na promoção de espaços para difusão de tecnologias e troca de experiências, visando incentivar o uso sustentável do bambu, a atualização de métodos de beneficiamento e preservação e a valorização do material como recurso construtivo para pequenas propriedades e comunidades em geral. Diante das necessidades locais, foram realizadas experimentações com o objetivo de estabelecer formas de tratamento eficientes que pudessem ser usadas em pequena escala e de maneira acessível aos produtores.

Material e métodos

As atividades de extensão foram realizadas na comunidade do Bom Jardim, situada no município de Rio Pomba (latitude 21° 16' 45" S, longitude 43° 10' 30" W e altitude média de 434 m), no entorno do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais – *campus* Rio Pomba, Zona da Mata mineira.

Inicialmente, foram realizadas visitas a áreas rurais com o intuito de identificar espécies e usos potenciais do bambu nesses locais. Entre o período de abril a agosto de 2014, foram feitas visitas a 14 propriedades rurais, escolhidas após serem identificados os potenciais empregos do bambu nas mesmas. Foi elaborado e aplicado questionário semiestruturado, com questões abertas e fechadas, entre os proprietários. Dessa forma, procurou-se realizar uma análise contextual da cultura do bambu na região, resgatar saberes e utilizações tradicionais a respeito do mesmo, bem como coletar dados sobre o valor que os agricultores dão ao material.

Em paralelo a essas atividades, foram propostos espaços de formação e troca de experiências durante dois importantes eventos locais: o VII Fórum

de Agroecologia do IF Sudeste de Minas Gerais, com público predominante de estudantes e produtores rurais; e o Fórum Regional de Educação Ambiental dos municípios de Rio Pomba e Lima Duarte, para públicos de servidores, professores e técnicos relacionados à área rural e ambiental.

Foram conduzidas ainda experimentações sobre tratamentos preservativos na espécie *Dendrocalamus giganteus*, conhecida como bambu-gigante e utilizada como material construtivo, porém questionada devido à durabilidade baixa quando não realizado tratamento adequado.

Para essa etapa, colmos de bambu *Dendrocalamus giganteus* com idade aproximada entre 3 e 4 anos foram coletados entre os exemplares da espécie no final do mês de agosto. Não foram encontradas referências para desenvolvimento do trabalho, sendo desenvolvida uma metodologia a partir da utilizada por Sarlo (2000), com alterações para a proposta de tratamento dos colmos.

As moitas que serviram como fontes das amostras não passam por manejo há vários anos, apresentando colmos mortos entremeados aos novos. Foram selecionados apenas colmos saudáveis, sem sinais de podridão e/ou ataque de insetos xilófagos, que se alimentam de substâncias da madeira. O corte foi feito logo acima do segundo entrenó (região entre dois nós), contado a partir da superfície do solo. Do colmo trabalhou-se com o segmento compreendido entre o décimo e o vigésimo quinto nós de forma a proporcionar uma aproximação de espessura de parede para todos os tratamentos. Pedacos de 70 centímetros de comprimento de cada colmo foram destinados aos diferentes tratamentos, segundo um delineamento inteiramente casualizado. Após ter passado pelo tratamento, cada pedaço foi seccionado em oito peças de dimensões padronizadas (200 x 50 mm, com espessura média de 11 mm), que figuraram como repetições.

Os tratamentos consistiram em: lixiviação (extração de uma substância de um meio sólido por meio de dissolução) de seiva pela imersão em água corrente, na qual as amostras foram submersas em rio durante um período de 15 dias (Ubídia, 2002); difusão por encharcamento em solução preservativa à base de boro, consistindo em 50% ácido bórico + 50% bórax numa concentração de 5%, com período de exposição de 24 horas (Montoya et al., 2005); autoclavagem, na qual as amostras passaram por tratamento térmico em autoclave à temperatura de 150 °C por 20 minutos (modificado de Colla et al., 2010); defumação, com a acomodação de amostras recém-cortadas num defumador artesanal na forma de tambor por 12 horas (Ubídia, 2002); difusão por encharcamento em solução preservativa à base de sulfato de cobre, numa concentração de 3%, com período de 24 horas (baseado em Ramos, 2003); e tratamento térmico com imersão dos colmos por 15 minutos (contados a partir do ponto de fervura da solução)



em solução alcalina à base de hidróxido de sódio (NaOH), na concentração de 1:10. Também foi estudada uma amostra testemunha, na qual as peças não passaram por qualquer tipo de tratamento.



FOTOS: ANDRÉ BACIC OULIC

Figura 1. Experimentação com tratamentos de bambu.

- (A) Amostras de *Dendrocalamus giganteus* submetidas ao tratamento e sob ação das brocas. (B) Defumador usado em um dos processos de tratamento. (C) Imersão em soluções de sulfato de cobre e de boro. (D) Substituição de seiva por água corrente. (E) Colmos tratados para serem fracionados em amostras. (F) Tratamento com hidróxido de sódio

Após o procedimento de tratamento propriamente dito, todo o material repousou por uma semana em ambiente abrigado e arejado de forma a reduzir e uniformizar o teor de umidade. Foi então efetuada a pesagem para que este dado servisse de referência para posterior verificação de perda de massa. Em seguida, realizou-se a coleta de pedaços de bambu velho infestados de brocas e depositou-se esse material no fundo de um tambor plástico. As amostras tratadas foram identificadas e distribuídas de maneira aleatória no tambor, por cima do inóculo de brocas. A parte de cima do tambor recebeu uma tela de mosquiteiro de forma a restringir o trânsito de brocas para dentro e para fora do recipiente. O período de exposição às brocas foi de 12 semanas e novas pesagens e avaliações da quantidade de perfurações foram realizadas quinzenalmente. Transcorridos 4 meses totais, o material passou por uma última pesagem, de onde se obtiveram os dados de perda de massa em porcentagem pela diferença entre massa inicial e final, que representou a preferência alimentar dos insetos. Outras variáveis analisadas foram o número de galerias feitas pelas brocas e número de insetos presentes em cada amostra.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e os valores significativos tiveram as médias agrupadas segundo o teste de Skott Knott a 5% de significância através do software estatístico R (R Development Core Team, 2012).

Resultados e discussão

Por meio das visitas e dos diagnósticos realizados entre os proprietários rurais, foi possível identificar as principais formas de utilização pela comunidade rural em questão. Foram encontrados balaios e cestaria; forros para residências e construções; cercas para hortas e baias para animais; partes integrantes de construções rurais; canalização de água; contenção de barrancos; drenagem de córregos; pindoba de secar fumo; esteira de carro de boi; móveis, como mesas e cadeiras; varas de pescar; armação para hortaliças, como tomate e plantas trepadeiras; lenha e carvão; pipas; palitos de churrasco e gênero alimentício.





Figura 2. Usos tradicionais encontrados no município de Rio Pomba-MG.
(A) Baia para animais. (B) Barraca de feira. (C) Contenção de encostas

Foi possível verificar que, no passado, o bambu teve ampla dispersão no meio rural do município, representando importante recurso, com repercussão direta ou indireta no incremento da renda e soberania como recurso construtivo na comunidade rural. Diagnosticou-se, ainda, que o decrescente uso desse material, principalmente pela população mais jovem, deve-se à opção por materiais convencionais de maior custo, porém de mais fácil aquisição.

Em sua maioria, proprietários e agricultores não praticam o manejo de seus bambuzais e também não têm muito conhecimento sobre formas de tratamento dos colmos de bambu, em alguns casos comprometendo a credibilidade desse material. Formas corretas de manejo são desconhecidas ou, quando realizadas, são feitas de maneira inadequada, comprometendo a propagação da moita. O conhecimento é empírico, os manejos são feitos de maneira desordenada, retirando-se os colmos necessários para determinada prática. É necessário um trabalho efetivo no qual possam ser abordadas formas práticas de manejo, evitando a derrubada total das moitas e preservando as existentes. Em alguns casos, os agricultores reconhecem a importância do bambu como material alternativo de qualidade e sua importância social e econômica inserida no contexto de sua própria realidade, interessando-se por conhecimentos que lhes proporcionem formas corretas de uso e manutenção das moitas.

Nas oficinas realizadas, foi possível transmitir ao público diversas informações sobre o bambu. Com públicos diferenciados entre si, a abordagem das oficinas precisou ser adaptada ao conhecimento e objetivos de cada grupo, sendo mais ou menos específica, dependendo do caso e atendendo a demandas pontuais, como a exploração de finalidades ecopedagógicas do bambu, no caso de educadores.

O material utilizado foi elaborado a partir das fotografias tiradas nas visitas às propriedades e durante as atividades de manejo, tratamento e usos do bambu realizadas no *campus* acadêmico.

Como parte integrante do trabalho, a pesquisa sobre os tratamentos preservativos resultou em dados que podem estimular possíveis formas de atuação junto às propriedades rurais. Os ensaios sobre o tratamento do bambu demonstraram que a técnica que apresentou menor perda de massa foi a do cozimento em hidróxido de sódio, com perda de 1,62 g da massa original. O resultado diferiu drasticamente dos demais, que apresentaram as seguintes perdas totais de massa, em ordem crescente: autoclave, 4,96 g; lavagem de seiva por imersão no rio, 5,20 g; ácido bórico + bórax, 9,30 g; defumação, 10,13 g; e sulfato de cobre, 11,07 g. A amostra testemunha registrou uma perda de massa de 10,38 g. Quanto ao número de insetos encontrados nas

amostras, a utilização de hidróxido de sódio voltou a apresentar a melhor média (2,65 insetos por amostra), seguida do ácido bórico + bórax (3,03 insetos por amostra) e sulfato de cobre (3,23 insetos por amostra). Já a amostra testemunha apresentou 4,61 insetos por amostra, enquanto as tratadas com autoclave (7,50 insetos por amostra), defumação (8,93 insetos por amostra) e imersão no rio (9,13 insetos por amostra) apresentaram os piores resultados.

Para ambas variáveis, o tratamento em hidróxido de sódio mostrou-se superior, permitindo melhores resultados em relação ao tratamento. Contudo, em relação aos demais tratamentos com uso destacado em referências bibliográficas (Pereira & Beraldo, 2007), os resultados não se mostraram tão eficientes. No caso do boro, por exemplo, existem recomendações sobre a combinação ou não entre ácido bórico e bórax em diferentes concentrações, tempo de imersão e temperatura, não havendo uma padronização. Outras referências dão conta do uso de octaborato tetrahidratado dissódico, produto de difícil aquisição na região. Na concentração e tempo de exposição da solução de ácido bórico e bórax que foram adotados no ensaio não foram obtidos resultados satisfatórios. Outras concentrações e tempos de exposição maiores podem ser mais eficientes, necessitando de novas experimentações, visto que os componentes à base de boro são os principais produtos citados na conservação de colmos de bambu.

Os tratamentos tradicionais como a imersão em água, defumação e autoclave, apesar de melhores resultados em relação à perda de massa, apresentaram maior número de insetos, demonstrando maior ataque – o que não se refletiu na perda de massa, no entanto.

Visualmente, os tratamentos com produtos químicos apresentaram menos ataques, havendo dificuldade de utilizar uma variável totalmente confiável para essa quantificação. Os insetos em questão são xilófagos, com um ciclo larvário que ataca os bambus para se alimentar de amido e açúcares. Incapazes de digerir celulose, eles formam galerias cavadas, geralmente no mesmo sentido das fibras (Matoski, 2005), o que pôde ser observado no trabalho.

Quanto à quantificação de escavações, ou seja, número de furos promovidos pelas brocas nas amostras, foram encontradas situações de difícil determinação. Nas peças com presença de nó, nas quais as fibras perdem o alinhamento longitudinal e se dispõem irregularmente, as galerias são escavadas de maneira descontínua, o que dificulta a quantificação. O hábito de escavação e padronagem em relação à colonização de peças de bambu já foi analisado por Silva (2009). No trabalho, o autor demonstra a baixa aceitação da broca por abrigos artificiais, preferindo escavações complexas, com galerias, demandando espaços de tempo consideráveis para completa colonização.

Mensalmente, efetuou-se a retirada do acúmulo de resíduos de bambu, que ia sendo depositado no fundo da caixa de ensaio por conta da atividade das brocas. Junto ao pó, verificou-se quantidade significativa de brocas mortas. Uma vez que as peças oriundas de diferentes tratamentos foram dispostas de maneira aleatória num mesmo recipiente, também foi inviável relacionar a mortalidade de brocas ao efeito tóxico de algum tratamento específico.

Não obstante, ponderou-se que, mesmo se cada tratamento tivesse sido ensaiado em recipientes isolados dos demais, com administração de um número controlado de brocas adultas, ainda assim haveria a dificuldade em determinar, entre os cadáveres, quantas morreram por causas naturais e quantas foram intoxicadas.

Na realização desta pesquisa percebeu-se a possibilidade de serem inseridas outras variáveis além das estudadas, de maneira a alterar a metodologia dentro de cada tratamento. Nesse sentido, priorizar um tratamento e as formas distintas de proceder no âmbito dele (por exemplo, variantes no tempo de exposição, concentrações e teor de umidade das peças no momento de operação) são aspectos importantes que podem ser melhor explorados em futuros estudos.

O tratamento dos colmos mostra-se como fator limitante para uma maior adoção de espécies de bambu como fonte de matéria-prima para a região. Os estudos preliminares mostraram potenciais agentes, mas necessitam de continuidade. Tratamentos comumente usados com sucesso para madeiras devem ser melhor adaptados às espécies.

Algumas espécies que apresentam menor ataque por insetos, fungos e bactérias são mais comumente empregadas, como é o caso de *Phyllostachys aurea* e *Merostachys*.

Conclusões

1. O bambu apresenta-se como importante recurso construtivo para artesanato e outras finalidades na Zona da Mata mineira. Contudo, ainda não é totalmente aproveitado.
2. No passado, o material foi utilizado de forma ampla, porém limitada pela falta de conhecimento, em especial quanto ao manejo e às formas de tratamento.

3. O cozimento em hidróxido de sódio mostra-se como uma potencial forma de tratamento com melhor desempenho para proteção de colmos de bambu gigante.

Agradecimentos

Ao MEC-SETEC/MAPA (Apoio a Núcleos de Estudo em Agroecologia) e ao CNPq – Chamada 46/2012 (407082/2012-3), pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho;

À Diretoria de Extensão do IFSudesteMG, *campus* Rio Pomba, pelo apoio financeiro e logístico ao trabalho.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 144p.
- ANDRADES, T. O.; GANIMI, R. N. Revolução verde e a apropriação capitalista. **CES Revista**, v. 21, p.43-56, 2007.
- BHAWAN, V.; MARG, S. J. S. Preservation of bamboo. **Training Manual**. National Mission on Bamboo Applications (NMBA), Nova Deli, Índia, 2006.
- COLLA, W. A.; BERALDO, A. L.; BRITO, J. O. Efeitos do tratamento térmico nas características físico-mecânicas do bambu gigante. **Revista Cerne**, v.17, n.3, p.361-367, 2010.
- DAS, M.; BHATTACHARYA, S.; SINGH, P.; FILGUEIRAS, T.; PAL, A. Bamboo taxonomy and diversity in the era of molecular markers. **Advances in Botanical Research**, v.47, p.226-68, 2008.
- FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). **Bamboo Science and culture: The Journal of the American Bamboo Society**, v.18, n.1, p.7-18, 2004.
- FILGUEIRAS, T. S.; LONGHI-WAGNER, H. M.; VIANA, P. L.; ZANIN, A.; OLIVEIRA, R. C. DE; CANTO-DOROW, T. S.; SHIRASUNA, R. T.; VALLS, J. F. M.; OLIVEIRA, R. P.; RODRIGUES, R. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P.; WELKER, C. A. D. Poaceae. **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB102232>>. Acesso em 10 abr. 2015.
- GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. Processos práticos para conservar madeira. **Documentos**, 96 – Embrapa Florestas, Colombo – PR, 2004, 49p.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Bogotá/Colombia: Oscar Hidalgo-López Editor, 2003. 553p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Ferramenta Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em 10 abr. 2015.



- MATOSKI, S. L. S. Comportamento de *Dinoderus minutus* Fabricius (1775) (Coleoptera: Bostrichidae) em lâminas torneadas de madeira. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. 106p.
- MONTOYA A., J. A. Metodo de desplazamiento de savia (Metodo *Boucherie*) para la preservación de *La Guadua angustifolia* Kunth. **Scientia et Technica**, v.11, n.28, p.211-216, 2005.
- MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. 4ª ed., 2013. 58p.
- OLIVEIRA, P. R. S.; VALVERDE, A. E. L.; MENDONÇA, F.M.; ALVARENGA, A. P.; VALVERDE, S. R.; MARQUES, G. M. **Cadeia produtiva da movelaria: polo moveleiro de Ubá**. Série Documentos n.47, 66p. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Viçosa, 2010.
- PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Editora Canal6, 240p. Bauru, SP, 2007
- R. DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**, 2012, URL <http://www.R-project.org>.
- RAMOS, A. M. D. Estudo para a fixação do boro na madeira com vista à sua preservação. Dissertação (Mestrado). Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia Química, Porto, 2003. 101p.
- SARLO, H. B. Influência das fases da lua, da época de corte e das espécies de bambus sobre o ataque de *Dinoderus minutus* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae). Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000. 63p.
- SILVA, R. G. Aceitação de abrigos artificiais por *Dinoderus* sp. (Coleoptera; Bostrichidae) **Revista Controle Biológico (BE-300) On-Line**. v.1, 2009. Disponível em: <http://www2.ib.unicamp.br/profs/eco_aplicada/revistas/be300_vol1_1.pdf>. Acesso em 10 abr. 2015.
- UBIDIA, J. A. M. **Preservación del Bambú en América Latina, mediante Métodos Tradicionales**. Inbar – International Network for Bamboo and Rattan. Equador, 70 p. Technical Report n. 25, 2002.
- VALVERDE, O. estudo regional da Zona da Mata, de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, v.20, n.1, p.3-82, 1958.

Implantação do Projeto Bambu no assentamento rural Horto de Aimorés (SP)



Marco Antonio dos Reis Pereira⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista.

Av. Luiz Edmundo Coube, 14-01, Bauru, SP, Cep:17.033-360. E-mail: pereira@feb.unesp.br

Resumo – Este trabalho relata uma parceria entre a Universidade Estadual Paulista (Unesp) e a comunidade do assentamento rural Horto de Aimorés, localizada em Bauru (SP), por meio do Projeto Bambu. A comunidade, cuja principal característica é o trabalho com a terra, tem buscado alternativas de sustentabilidade, fixação ao campo e geração de renda. O projeto atua em diversas etapas da cadeia produtiva do bambu: plantio e desenvolvimento de espécies; manejo para produção de colmos e mudas; processamento; caracterização físico-mecânica; tratamento; confecção de produtos e estruturas leves; difusão do conhecimento. O objetivo da parceria foi introduzir o projeto na comunidade, inicialmente com palestras e mais tarde com a capacitação da comunidade para a cadeia produtiva. A transferência iniciou-se com o plantio de espécies e a construção de um galpão/oficina em bambu para abrigar o processo de implantação. O projeto foi premiado por diversas instituições, como Odebrecht, Universidade Solidária, Instituto 3M e Fundação Banco do Brasil. Durante o desenvolvimento, destacaram-se os seguintes benefícios: formação do grupo capacitado Associação Viverde, capaz de conduzir e replicar o processo localmente; transferência do projeto para a comunidade; estabelecimento de parcerias para disseminação e sustentação; envolvimento e capacitação de alunos no desenvolvimento de produtos e atividades científicas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BAMBU, EXTENSÃO, COMUNIDADE RURAL, ESPÉCIES, CAPACITAÇÃO, PRODUTOS, GERAÇÃO DE RENDA.

Bamboo Project implementation in a rural settlement

Abstract – This work illustrates the partnership established between São Paulo State University (Unesp) and the community of the Rural Settlement Horto Aimorés, located near Bauru. The community works with the land and has been seeking for sustainable alternatives for field fixing and income generation. The Bamboo Project acts in different stages of the bamboo production chain, involving planting and development of species, management for culms and seedlings production, treatment, physical-mechanical characterization, processing, confection of products and lightweight structures, and dissemination of knowledge. The objective of the partnership was to introduce the project into the community, initially through lectures, and followed by trainings to enable the community to be introduced in the existing bamboo production chain at Unesp. The transfer to the community began with the plantation of species and the construction of a shed/workshop in bamboo able to house the process of implementation. This project has received awards from companies such as Odebrecht, Universidade Solidária, 3M Institute and Banco do Brasil Foundation. This partnership and its development have resulted in various benefits, such as: the formation of a group of trained farmers called Viverde Association, able to conduct and replicate this process locally including new families; the transfer of the project to the community; the establishment of partnerships for dissemination and support; and the involvement and training of students in product development and scientific activities.

INDEX TERMS: EXTENSION, RURAL COMMUNITY, SPECIES, TRAINING, PRODUCTS, INCOME GENERATION, BAMBOO.

Introdução

Este trabalho relata uma parceria de sucesso entre a Universidade Estadual Paulista (Unesp) e a comunidade do assentamento rural Horto de Aimorés, localizada na região de Bauru, no estado de São Paulo. No âmbito do projeto, os agricultores – que vivem sob constante risco social –, têm sido capacitados para ingressar na cadeia produtiva do bambu. Tal cadeia envolve o plantio de espécies de interesse tecnológico e comercial, o manejo das moitas para produção de mudas e colmos, seu tratamento e sua secagem – além das técnicas de processamento, beneficiamento e utilização do bambu na construção de estruturas leves e na confecção de produtos artesanais e processados que

possam agregar um maior valor ao material, servindo, assim, como fonte de renda para as famílias envolvidas.

A parceria entre a Unesp e essa comunidade rural integra um projeto maior, denominado Projeto Bambu, que visa ao desenvolvimento da cultura do bambu como matéria-prima para a confecção de produtos e estruturas, além de promover a formação de pessoal capacitado na tecnologia do bambu (Pereira, 2012). Em muitos casos, o bambu pode substituir a madeira, de forma a contribuir para a preservação de árvores provenientes de florestas nativas.

Durante o desenvolvimento da parceria, diversos benefícios foram constatados: a formação de um grupo capacitado de agricultores – a Associação Agroecológica Viverde – para replicar o processo localmente e incluir novas famílias no projeto; a transferência do Projeto Bambu para a comunidade, por meio do plantio de espécies e da construção de um galpão/oficina em bambu para abrigar tanto o processo de implantação quanto a confecção local de produtos; o estabelecimento de parcerias para divulgação e sustentação do projeto por meio da geração de renda; a capacitação e o envolvimento de alunos da Unesp no desenvolvimento de produtos e em atividades científicas.

Atualmente, poucos duvidam que os problemas ecológicos impactarão cada vez mais o desenvolvimento tecnológico, os processos industriais e os assentamentos humanos: o século XXI já é considerado o século do meio ambiente. Assim, a busca por materiais renováveis e fontes energéticas não convencionais tem se tornado uma prioridade mundial neste início de século (Saleme & Viruel, 1995).

Muito tem sido dito sobre a necessidade de se buscar um desenvolvimento sustentável – aquele que atende às necessidades das gerações atuais garantindo que as próximas gerações também se desenvolvam (Wilkinson et al., 2001). Entretanto, fica cada vez mais claro que o desenvolvimento sustentável somente pode ser obtido por meio do estabelecimento de parcerias entre os múltiplos atores da sociedade (mercado, sociedade civil e setor público). A relevância dessas parcerias é tal que a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu o trabalho colaborativo como um dos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (Sarkis, 2012).

As parcerias tendem a ser ainda mais importantes para os países em desenvolvimento, pois geram a combinação de competências, a otimização de uso de recursos escassos, a troca de conhecimentos e a capacitação de pessoas de baixa renda, em busca de uma melhor condição de vida.

O conceito de desenvolvimento sustentável, introduzido pela primeira vez na Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente da ONU

em 1987, abriu para o debate internacional a ideia de responsabilidade das gerações atuais pelo futuro, bem como, nesse sentido, a insustentabilidade do modelo de desenvolvimento vigente (o qual exulta sobretudo a produção de bens e o crescimento econômico) –, que deve ser substituído por um modelo que ressalte aspectos sociais, culturais, políticos e ambientais, além de econômicos (Manzini & Vezzoli, 2008).

Segundo Singer (2002), a economia solidária é um conjunto de atividades econômicas organizadas e realizadas solidariamente por trabalhadores sob autogestão, tendo como base a igualdade de direitos e responsabilidade de todos os participantes. A extensão universitária encontra um terreno fértil na economia solidária, pois nela desenvolve esse conceito de maneira plena. Diferindo dos valores da sociedade capitalista, esse tipo de economia é centrado na valorização do ser humano – em vez do capital – e na sobreposição do desenvolvimento individual pelo comunitário.

No Brasil, em especial, a desigualdade social se mostra como a principal mazela e tem sido amenizada por meio de várias ações sociais – de iniciativa popular, pública ou privada. Essas ações sociais devem passar a ser consideradas dentro dos mais diversos tipos de organizações humanas, incluindo as universidades. Estas se sustentam sobre o tripé pesquisa, ensino e extensão, no qual todo conhecimento produzido e assimilado deve ser aplicado em benefício da comunidade na qual a instituição se insere. Assim, a extensão universitária é uma ferramenta ideal para conceber tais ações.

Historicamente, o bambu tem servido ao ser humano de diversas maneiras – fornecendo alimento, abrigo, ferramentas, utensílios e uma infinidade de outros itens. Atualmente, estima-se que a planta contribua para a subsistência de mais de um bilhão de pessoas (Sastry, 1999). Na China, por exemplo, homem e bambu estão unidos desde tempos pré-históricos: reconhece-se o uso da planta desde os anos 1.600 a 1.100 a.C., conforme consta em antigos registros chineses.

O bambu possui cerca de 50 gêneros e 1.250 espécies, que se distribuem naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Os bambus nativos crescem em todos os continentes, exceto na Europa. De todas as espécies conhecidas, 62% são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e da Oceania (Hidalgo López, 2003).

De acordo com Filgueiras e Santos-Gonçalves (2004), o Brasil possui 34 gêneros e 232 espécies nativas. Devemos destacar que as espécies introduzidas no Brasil, pertencentes aos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*, *Guadua* e *Phyllostachys*, estão bem adaptadas.



Órgãos internacionais ligados à cultura do bambu recomendam a introdução e experimentação de 19 espécies consideradas prioritárias com base em critérios relativos ao uso, cultivo, processamento, recursos genéticos e agroecologia. Muitas dessas espécies prioritárias já foram introduzidas no Brasil e encontram-se adaptadas às nossas condições.

O bambu cresce com mais rapidez do que qualquer outra planta do planeta, levando em média de 3 a 6 meses para um broto atingir sua altura máxima de até 40 metros em espécies gigantes, produzindo colmos anualmente, sem a necessidade de replantio e com grande potencial agrícola. Além de ser um eficiente sequestrador de carbono, apresenta excelentes características físicas, químicas e mecânicas que favorecem seu uso na construção e na confecção de produtos. Pode ser utilizado em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares e como um protetor e regenerador ambiental. Também pode ser empregado ao natural ou após sofrer um processamento adequado para os mais diversos fins. A exploração da cultura do bambu e de sua cadeia produtiva pode beneficiar o meio ambiente, evitando o corte de árvores e matas nativas e gerando renda e emprego, além de contribuir para fixar o homem no campo (Pereira & Beraldo, 2007).

A Lei 12.484/2011, conhecida como “Lei do Bambu”, institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu. Seu objetivo é o desenvolvimento da cultura do bambu no Brasil, como afirma no 5º artigo, o inciso I – “incentivar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, voltados para o manejo sustentado, o cultivo, os serviços ambientais e as aplicações dos produtos e subprodutos do bambu” – e o inciso III – “incentivar o cultivo e a utilização do bambu pela agricultura familiar” (Brasil, 2011).

A parceria relatada neste trabalho tem participado de editais em busca de suporte para o desenvolvimento do projeto e recebeu diversas lãureas no Brasil, como o prêmio Odebrecht, prêmio Universidade Solidária (Unisol), prêmio edital Proext, do Ministério da Educação e Cultura (MEC), prêmio do Instituto 3M para o Desenvolvimento Sustentável e prêmio Fundação Banco do Brasil de Tecnologia Social.

O objetivo principal da parceria foi introduzir o Projeto Bambu no seio da comunidade rural do assentamento Horto de Aimorés, inicialmente por meio da conscientização sobre o tema, seguida da capacitação na cadeia produtiva existente na Unesp e da transferência do projeto para a comunidade, buscando auxiliar na fixação do homem no campo e na geração de renda a partir do trabalho com o bambu. Procurou-se também envolver alunos e professores no desenvolvimento de atividades científicas e de suporte ao projeto.

Material e métodos

A UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, CAMPUS DE BAURU, SÃO PAULO -

Criada em 1976, a Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (Unesp) é mantida pelo Governo do Estado de São Paulo e é uma das maiores e mais importantes universidades brasileiras, sendo a única presente em praticamente todo o território paulista. A Unesp oferece 168 opções de cursos de graduação, entre bacharelados e licenciaturas. Os cursos, por sua vez, habilitam os alunos em 63 carreiras ou profissões, nas três grandes áreas do conhecimento: ciências humanas, biológicas e exatas.

Os departamentos da Faculdade de Engenharia, responsáveis pelo Projeto Bambu, envolvem os laboratórios de Experimentação com Bambu e de Processamento da Madeira, pertencentes ao Departamento de Engenharia Mecânica. O campo experimental de plantio possui uma coleção de 25 espécies de bambu em uma área cultivada de 1,5 hectares (15 mil m²), com cerca de 250 moitas produzindo colmos anualmente. Com caráter multidisciplinar, o projeto envolve também a participação de docentes e discentes dos cursos de engenharia civil, engenharia de produção, *design*, arquitetura e relações públicas.

A COMUNIDADE: ASSENTAMENTO RURAL HORTO DE AIMORÉS -

O assentamento rural Horto de Aimorés está situado na divisa dos municípios de Bauru e Pederneiras, a 15 quilômetros da Unesp de Bauru. Nele, há cerca de 350 famílias assentadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) desde 2007. O programa de reforma agrária do governo brasileiro tem a finalidade de destinar terras improdutivas a agricultores que, por diversos motivos, estão destituídos de condições dignas de sobrevivência.

A principal fonte de renda da comunidade é o trabalho com a terra. Por isso, a Horto de Aimorés tem buscado alternativas de sustentabilidade para a fixação de suas famílias no campo. O primeiro objetivo do assentamento é a subsistência alimentar, mas também é necessária a geração de renda por meio de alternativas sustentáveis, como o Projeto Bambu aqui exposto.

O modelo de ocupação individual utilizado pelo assentamento dificulta, em parte, as ações coletivas, pois existe uma separação física muito grande entre as famílias, o que inibe sobremaneira a comunicação e a organização dos grupos. Assim, o projeto propôs, em um primeiro momento, o trabalho com um grupo de famílias, denominado “grupo Viverde”.

O projeto foi em grande parte desenvolvido nos laboratórios da Unesp, que dispõem de infraestruturas de campo (matéria-prima bambu) e de la-

boratório (máquinas e ferramentas) necessárias para o desenvolvimento de ações diretas e de aprendizado prático.

O MATERIAL BÁSICO DA PARCERIA: BAMBU - A principal matéria-prima utilizada na parceria é o bambu, cujo cultivo vem sendo desenvolvido na Unesp, no *campus* de Bauru, desde 1994, com o plantio de 25 espécies de importância tecnológica e econômica pertencentes aos gêneros *Dendrocalamus*, *Guadua*, *Bambusa*, *Melocanades*, *Gigantoclhoa* e *Plyllostachys*. Destacamos o uso no projeto das seguintes espécies: *Dendroclamus asper*, *D. latiflorus*, *D. strictus*, *Guadua angustifolia*, *G. chacoensis*, *Bambusa tuldoides*, *B. tulda*, *B. oldhamii*, *B. textilis*, *B. vulgaris*, *B. multiplex*, *Melocana bacifera* e *Plillostachys nigra*.

BREVE PERFIL DO PROJETO BAMBU - O Projeto Bambu, do qual faz parte a parceria entre a Unesp e a comunidade rural, é desenvolvido desde 1990 no Laboratório de Experimentação com Bambu do Departamento de Engenharia Mecânica da Unesp, *campus* de Bauru. Ele visa desenvolver a cultura do bambu como matéria-prima para a confecção de produtos e estruturas, que podem, em muitos casos, substituir a madeira e, assim, contribuir para a preservação de árvores nativas. O Projeto Bambu (Pereira, 2012) envolve a introdução e o plantio de espécies prioritárias de bambu (de interesse tecnológico e econômico) para o fornecimento de matéria-prima (colmos) necessária aos estudos e outras aplicações.

As atividades do projeto envolvem a caracterização física e mecânica das espécies de bambu para obtenção de seus aspectos de resistência, o manejo de moitas e a colheita de colmos, a produção de mudas, a secagem e o tratamento do material e o processamento dos colmos visando ao seu uso no desenvolvimento de estruturas leves, de produtos artesanais e processados (bambu laminado colado) capazes de gerar renda e agregar valor à matéria-prima. O projeto atua também na formação e capacitação de alunos por meio de ensino, pesquisa (graduação e pós-graduação) e extensão, com atividades na comunidade do assentamento Horto de Aimorés e a divulgação da cultura do bambu.

ENVOLVIMENTO DA COMUNIDADE, CAPACITAÇÃO, TRANSFERÊNCIA E GERAÇÃO DE RENDA - A metodologia utilizada na parceria foi desenvolvida por meio de etapas consecutivas, interligadas e contínuas, envolvendo a aproximação com a comunidade, a formação de um grupo de agricultores interessados, a capacitação desse grupo e a posterior transferência do projeto para dentro da comunidade.

A aproximação com a comunidade do assentamento Horto de Aimorés foi realizada com a finalidade de apresentar e mostrar o conhecimento a respeito da cultura do bambu e suas importantes possibilidades de utilização no meio rural como uma ferramenta capaz de gerar renda e auxiliar na fixação no campo. Palestras, mostras de produtos já desenvolvidos e visitas ao *campus* da Unesp foram efetuadas com esse objetivo.

A partir da organização de um grupo de agricultores interessados, estes passaram a comparecer semanalmente à Unesp para uma capacitação gradativa na cadeia produtiva do bambu. As aulas envolviam conhecimento das espécies, plantio, manejo, colheita, produção de mudas, tratamento, secagem, armazenamento, processamento e confecção de produtos e estruturas leves, bem como o conhecimento e o manuseio de máquinas e ferramentas.

Após a capacitação do grupo, foi iniciado o processo de transferência para a comunidade, envolvendo o plantio inicial de 150 moitas das espécies *Dendroclamus asper*, *Guadua angustifolia* e *Bambusa oldhamii*, para que, em pouco tempo, a comunidade produzisse localmente sua própria matéria-prima. Projetou-se e construiu-se um galpão/oficina em bambu, com 250m² e equipado de máquinas e ferramentas, para abrigar o processo de transferência, dando início à produção local, à busca por parcerias e à geração de renda.

O ENVOLVIMENTO DA COMUNIDADE ACADÊMICA DA UNESP - Formou-se um grupo de alunos de graduação dos cursos de *Design*, Arquitetura, Artes e Engenharia, denominado grupo Taquara. Esse grupo também foi capacitado na cadeia produtiva do bambu, sendo capaz de atuar dentro do projeto, ao lado dos agricultores. Os alunos – que se renovam todos os anos com a entrada de novos membros – desenvolvem ações acadêmicas e atuam na extensão por meio do desenvolvimento de produtos em bambu e de sua transferência para o projeto.

Resultados e discussão

APROXIMAÇÃO E ENVOLVIMENTO DA COMUNIDADE DO ASSENTAMENTO - Uma das primeiras atividades junto ao grupo de produtores rurais foi a palestra inaugural, que visava ao contato inicial e à sensibilização das famílias do assentamento para a cultura do bambu e suas possibilidades de uso no meio rural. A palestra foi ministrada pelo coordenador do projeto, o prof. Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira, da Unesp, e envolveu também a Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares da Unesp (Incop). Durante a aula, apresentou-se o



Projeto Bambu e toda a cadeia produtiva que ele envolve, com o objetivo de estimular o interesse e a participação dos agricultores no projeto.

A palestra inicial serviu como marco zero do projeto, mas teve também a finalidade de divulgar as atividades da universidade voltadas ao uso do bambu, de forma a atrair novos interessados e unificar propostas envolvendo a equipe do projeto e os grupos de agricultores (grupo Viverde). Mais tarde, o grupo Viverde visitou a área experimental da Unesp para conhecer o projeto e começar as atividades de capacitação na cadeia produtiva do bambu. A figura 1 mostra os vários momentos dessa aproximação entre universidade e comunidade.



Figura 1. Exemplos de aproximação entre universidade e comunidade

CAPACITAÇÃO NA CADEIA PRODUTIVA DO BAMBU E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO - O processo de capacitação dos agricultores dentro do projeto foi efetuado na Unesp, com visitas semanais dos agricultores à universidade para conhecimento das atividades de campo e de laboratório. Na área de campo, repassou-se o conhecimento sobre as espécies, seu manejo para a produção de colmos ou para a produção de brotos para alimentação, técnicas adequadas de colheita, técnicas de produção de mudas que posteriormente

foram doadas para plantio no assentamento, técnicas para o tratamento adequado dos colmos colhidos, envolvendo os métodos de substituição de seiva, imersão e calor. Na área de laboratório, houve a capacitação para secagem e armazenamento adequados, processamento e utilização do material bambu, confecção de produtos artesanais (bambu *in natura*) e processados, bem como para uso das técnicas de encaixe e união para confecção de estruturas leves. Em todas as atividades que envolviam a utilização e o manuseio de máquinas e ferramentas, houve a preocupação com os aspectos de segurança e uso de equipamentos de proteção individual (EPIs).

Hoje, o grupo Viverde encontra-se capacitado na cadeia produtiva do bambu e é o replicador da tecnologia do bambu dentro da comunidade. O desenvolvimento do grupo Viverde resultou na criação, em 2011, da Associação Agroecológica Viverde. A associação é um modelo de implantação do Projeto Bambu e serve como multiplicador da nova ferramenta que está sendo introduzida na comunidade. O grupo é composto por cerca de vinte famílias, que possuem estruturação básica e experiência na comercialização de produtos agrícolas fora do assentamento. A figura 2 mostra diversos momentos da capacitação efetuada.

Como resultado do processo de capacitação do grupo de agricultores do assentamento, estes puderam iniciar a confecção de produtos e sua comercialização, sendo desenvolvido um catálogo com os produtos disponíveis. Foi criada uma identidade visual para os produtos comercializados, alavancando a produção da associação. Além da criação da já mencionada Associação Agroecológica Viverde para fins legais de comercialização, foi iniciada a busca por parcerias, feiras e encomendas para auxiliar a sustentação do projeto.

Deu-se início também ao processo de transferência do projeto para dentro da comunidade, por meio do plantio local de 150 mudas de bambu, inicialmente com as espécies *Dendrocalamus asper*, *Bambusa oldhamii* e *Guadua angustifolia*, e a construção de um galpão/oficina com máquinas e ferramentas para abrigar o processo de transferência, fixação e produção locais. A figura 3 mostra diversos momentos envolvidos nas etapas de capacitação, confecção de produtos e estruturas leves, transferência para a comunidade e envolvimento dos alunos.



FOTOS DO AUTOR

Figura 2. Exemplos da capacitação dos agricultores



FOTOS DO AUTOR

Figura 3. Produtos efetuados pós-capacitação, transferência, feiras e envolvimento de alunos

A geração de renda ocorreu também pela participação do grupo em feiras de Bauru e da região, como a feira de artesanato Ubá, a feira do supermercado Pão de Açúcar, a feira da agricultura familiar/Agrifam e a feira agropecuária de Bauru, além do trabalho por encomenda.

A capacitação do grupo Viverde dentro do projeto de extensão tem mostrado bons resultados em suas diversas etapas, culminando na confecção de produtos de boa qualidade e aceitação e capazes de gerar renda. A produção do grupo pode ser visualizada no link: www.flickr.com.br/photos/grupoviverde.

Desde 2013, a Associação Viverde tem parceria firmada com o projeto Caras do Brasil, do grupo de supermercados Pão de Açúcar, que mensalmente adquire cerca de 500 colheres e 500 espátulas que são distribuídas para as 56 lojas participantes do programa.

Conclusões

1. Este artigo sistematiza o perfil de um projeto inovador que vem sendo implementado com sucesso entre a Unesp e a comunidade rural do assentamento Horto de Aimorés. O projeto, por meio da implantação da cultura do bambu, capacita a comunidade para que ela exerça um desenvolvimento mais sustentável, obtendo renda e fixação ao campo.
2. A Associação Agroecológica Viverde, hoje capacitada e estruturada, é responsável pelo desenvolvimento local do projeto, sendo capaz de disseminar e replicar o conhecimento junto à comunidade, iniciando, assim, a geração de renda.
3. As atividades de transferência do projeto para o assentamento ocorrem inicialmente por meio da construção e entrega de um barracão/oficina em bambu para que sirva de abrigo para o processo, bem como pelo plantio de bambu para fornecimento de matéria-prima.
4. Há o envolvimento de vários setores da sociedade, como professores e alunos da Unesp – gerando oportunidades de extensão, pesquisa e publicações –, além de famílias rurais, sociedade civil e mercado, na busca de um desenvolvimento mais sustentável.
5. Os principais desafios do projeto envolvem o desenvolvimento local, de modo a agregar mais famílias – sobretudo os jovens – ao projeto. Outro aspecto importante é a disseminação da cultura do bambu na comunidade

como matéria-prima capaz de substituir e evitar o corte de madeira nativa. O maior desafio a ser conquistado pelo projeto é a geração de uma renda fixa e oficializada para cada cooperado.

Agradecimentos

À Pró-Reitoria de Extensão da Unesp/Proex;
À Faculdade de Engenharia (FEB – Unesp Bauru);
À Faculdade de Artes, Arquitetura e Comunicação (FAAC – Unesp Bauru);
Ao Instituto 3M;
À Associação AlfaSol (Programa Universidade Solidária – Unisol);
Ao Mec/Sesu;
Ao programa Caras do Brasil, do grupo Pão de Açúcar;
Às prefeituras de Bauru e Pederneiras.

Referências

- BRASIL. **Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011.** Institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu – PNMGB. DOU 09 set. 2011.
- FILGUEIRAS, T.S.; SANTOS-GONÇALVES, A.P. Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil. *Bamboo Science and Culture. The Journal of the American Bamboo Society*, v.18, n.1, p.7-18, 2004.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo the gift of the gods.** Bogotá: D’Vinni, 2003.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **Desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo: Edusp, 2008.
- PEREIRA, M.A. dos R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma.** Bauru: Canal 6 Editora, 2007.
- PEREIRA, M.A. dos R. Projeto Bambu: Introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. Tese de livre docência em *Design* e construção com bambu. Unesp, Departamento de Engenharia Mecânica, Bauru, 2012.
- SALEME, H.; VIRUEL, S.C. Estructuras de bambu en la arquitectura moderna. **Anais das Jornadas Sudamericanas De Ingenieria Estructural**, n.27, 1995.
- SARKIS, J. Models for compassionate operations. **International Journal of Production Economics**, v.139, n.2, p.359-365, 2012.
- SASTRY, C.B. **Timber for the 21st Century.** Disponível em: <www.inbar.org.cn/Timber.asp>. Acesso em 30 nov. 1999.
- SINGER, P. **Introdução à economia solidária.** São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2002.
- WILKINSON, A.; HILL, M.; GOLLAN, P. The sustainability debate. **International Journal of Operations & Production Management**, v.21, n.12, 2001, p.1492-1502.



Percepção de assentados no Mato Grosso do Sul em relação às moradias de bambu



Olivier François Vilpoux⁽¹⁾, Gisele S. Estrella⁽²⁾, Guilherme Foizer⁽¹⁾, Marney Pascoli Cereda⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Tecnologia e Análise do Agronegócio, Universidade Católica Dom Bosco. Av. Tamandaré, 6000 CEP 79117-900 – Campo Grande – MS. E-mail: vilpoux@ucdb.br e cereda@ucdb.br

⁽²⁾ Instituto Federal do Mato Grosso do Sul. Rua José Tadao Arima, nº 222 – Bairro Ycarai – Aquidauana-MS. E-mail: gisele.estrella@ifms.edu.br

Resumo – O uso do bambu como material para construção é valorizado no Equador e na Colômbia, onde é comum a exploração extrativista, projetos e construções de moradias e agroindústrias. No Brasil, a cultura do bambu é pouco difundida. Em assentamentos rurais, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) fornece o projeto e materiais para construção de moradias tradicionais. O uso do bambu poderia ajudar a corrigir atrasos em obras, tanto pela disponibilidade local quanto por ser uma espécie exótica cuja exploração é permitida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Para isso, é necessário que o bambu seja aceito pelo morador. O objetivo deste trabalho é analisar a percepção dos assentados no Mato Grosso do Sul sobre o uso do bambu na construção de moradias. A pesquisa é de natureza exploratória, com revisão da literatura. Foram aplicados questionários a 50 produtores agrícolas assentados. Resultados mostraram que os entrevistados conheciam o bambu, mas não como material alternativo de construção. A maioria dos entrevistados imagina uma casa de bambu fraca e barata, diferindo da casa ideal, que deve ser resistente. Isso indicou a necessidade de um processo de conscientização da população para que a introdução desse material seja aceita.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: CONSTRUÇÃO, CASAS SOCIAIS, REFORMA AGRÁRIA, BAMBU, ASSENTAMENTO.

Perception of settlers in Mato Grosso do Sul (Brazil) regarding bamboo houses

Abstract – *The use of bamboo as a building material is valued in Ecuador and Colombia, where there is a practice of extractive exploitation, design and construction of houses and agricultural industries. In Brazil, this culture is little known due to misconception and ignorance. In rural settlements, Incra provides design and traditional building materials. The use of bamboo could help to fix delays in construction, because of the local availability and because it is an alien species whose exploitation is allowed by Ibama. For this reason, it must be accepted by the resident. This study aimed to analyze the perception of settlers in Mato Grosso do Sul regarding the use of bamboo in housing construction. The research is exploratory, with literature review. In order to evaluate the perception of the settlers, questionnaires were administered to 50 of them. The results indicated that the respondents knew bamboo, though not as an alternative construction material. Confirming this result, the majority of respondents think of a bamboo house as weak and cheap, differing from the ideal home, which should be resistant. This difference indicated the need for a public awareness process before the introduction of this material is accepted.*

INDEX TERMS: CONSTRUCTION, SOCIAL HOUSING, AGRARIAN REFORM, BAMBOO, SETTLEMENT.

Introdução

Na construção civil, o alto consumo de energia, a elevada taxa de desperdício (Alves, 2012) e a poluição do meio ambiente (Correia, 2011) têm acelerado a busca por materiais mais econômicos e renováveis – como materiais alternativos de origem natural – que possam substituir os produtos industrializados utilizados na construção civil.

Como destacam Torgal e Jalali (2011), a União Europeia estabeleceu que, em médio prazo, o consumo de matérias-primas deve ser reduzido em 30%, e a produção de resíduos no setor da construção civil deve ser cortada em 40%, como forma de tornar essa indústria mais sustentável.

Van der Lugt et al. (2006) ressaltam que os materiais de construção deixaram de ser selecionados com base apenas em requisitos funcionais, técnicos e financeiros, pois os aspectos ambientais e de sustentabilidade passaram a influenciar a escolha do sistema construtivo e dos materiais empregados na construção civil.



Especialmente no meio rural, o uso de materiais alternativos locais se apresenta como uma solução para as inúmeras dificuldades que surgem ao se adquirir materiais de construção em estabelecimentos comerciais em razão da logística na entrega nos lotes individuais. Entre os problemas estão a dificuldade de acesso aos lotes e a distância entre eles; estradas intransitáveis; e a dificuldade de encontrar os moradores no lote, sobretudo se o assentamento está em fase de implantação. Esses fatores comprometem a captação e a aplicação dos recursos do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (Incra) e a interação contratual com os fornecedores locais, bem como a aplicação dos recursos captados e financiados por órgãos financiadores como a Caixa Econômica Federal.

A escassez de habitações populares urbanas e rurais tem motivado inúmeras pesquisas na busca de materiais alternativos em vários países em desenvolvimento, inclusive no Brasil. Contudo, não se pode dispensar a segurança, o conforto e a estética. Daí a importância de se utilizar materiais renováveis na construção civil no meio rural como substitutos de outros materiais convencionais. A aplicabilidade desses materiais renováveis abrange os elementos de fundações, estruturais (vigas e pilares), painéis de vedação, estruturas de cobertura e a própria cobertura.

Os moradores da zona rural podem abranger diversas classes sociais, entre elas a dos agricultores familiares, que incluem os assentados. Segundo Schneider (2003), é o aspecto econômico que separa os camponeses dos agricultores familiares no regime capitalista. Em paralelo, Navarro (2010) indica que os agricultores familiares são caracterizados pela gestão familiar das atividades e decisões no interior dos estabelecimentos rurais. A agricultura familiar, conforme Schneider (2003), é um conjunto de indivíduos que forma um grupo doméstico, com posse e exploração de uma mesma propriedade, constituindo uma só unidade de produção e de consumo.

Documentos oficiais utilizam de maneira indiscriminada expressões como “baixa renda”, “pequena produção” ou até mesmo “agricultura de subsistência” para descrever a agricultura familiar – expressão que, embora seja importante para o país, é de uso relativamente recente (Abramovay, 1997).

Baiardi (1999) classifica os agricultores familiares no Brasil em tecnificados e mercantis, predominantes no cerrado; integrados verticalmente em complexos agroindustriais e em perímetros irrigados; agricultores familiares tipicamente coloniais, ligados à policultura, à combinação de lavouras e pomares com pecuária e à criação de pequenos animais; agricultores familiares semimercantis, sem relação com a imigração europeia não ibérica; e agricultores familiares caracterizados pela marginalização do processo econômico e pela falta de horizontes.

A lei 11.326/2006 estabelece as diretrizes da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais no Brasil (Brasil, 2006). O artigo 3º dessa lei considera agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos requisitos de não deter, a qualquer título, área maior do que quatro módulos fiscais; que utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do estabelecimento ou empreendimento; que tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento; e que dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

São também beneficiários dessa lei os moradores que atendam simultaneamente a todos os requisitos estipulados em diferentes tarefas, como silvicultores (de florestas nativas ou exóticas) e os que promovem o manejo sustentável desses ambientes; os aquicultores que exploram reservatórios hídricos com superfície total de até dois hectares, ou exploram até 500m³ de água (quando tanques-rede); extrativistas que exercem essa atividade artesanalmente no meio rural; e os pescadores que exercem a atividade pesqueira artesanalmente.

Essas diversas classes incluem os assentados da reforma agrária. Segundo Bergamasco e Norder (1996), um assentamento rural pode ser definido como a criação de novas unidades de produção agrícola por meio de políticas governamentais, visando ao reordenamento do uso da terra ou à busca de novos padrões sociais na organização do processo de produção agrícola. Nessa definição, incluem-se projetos de colonização, reassentamento de populações atingidas por barragens, planos estaduais de valorização das terras públicas e regularização possessória, programas de reforma agrária e criação de reservas extrativistas.

Furtado e Furtado (2000) ressaltam que a instalação de novas propriedades agrícolas como resultado de políticas públicas visa a uma redistribuição de terras menos concentradora, cujos beneficiados são os trabalhadores rurais sem-terra e aqueles com pouca terra. O termo assentamento, introduzido pelos órgãos oficiais, passa a ideia de alocação, de fixação dos trabalhadores na agricultura – daí o surgimento de uma nova categoria no espaço rural: o assentado.

Em resumo, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra, 2015) afirma que assentamento rural é um conjunto de unidades agrícolas independentes entre si, instaladas pelo Incra onde originalmente existia um imóvel rural que pertencia a um único proprietário. Cada uma dessas unidades, chamadas de parcelas, lotes ou glebas, é entregue a uma família



sem condições econômicas para adquirir e manter um imóvel rural por outras vias. A quantidade de glebas em um assentamento depende da capacidade da terra de comportar e sustentar as famílias assentadas. O tamanho e a localização de cada lote são determinados pela geografia do terreno e pelas condições produtivas que o local oferece. Ainda segundo o Incra, os lotes são distribuídos entre os trabalhadores rurais que se comprometem a morar na parcela e a explorá-la para seu sustento, utilizando exclusivamente a mão de obra familiar. Além da distribuição de terras, os assentamentos da reforma agrária dão condições de moradia e de produção familiar (Incra, 2015). Como afirma o órgão:

O Incra, por meio da Ação 8396 (implantação e recuperação de infraestrutura básica em projetos de assentamento), implanta a infraestrutura básica necessária nas áreas de reforma agrária. As prioridades são a construção e/ou complementação de **estradas vicinais** e o **saneamento básico** – através da implantação de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, além de construção de **redes de eletrificação rural**, visando proporcionar as **condições físicas necessárias para o desenvolvimento sustentável dos assentamentos** (Incra, 2015).

As políticas de desenvolvimento nos assentamentos implementadas com os investimentos feitos pelo Incra, por meio do Crédito Instalação na modalidade Aquisição de Materiais de Construção e aliadas aos investimentos do Programa Luz para Todos, da Agência Goiana de Habitação (Agehab) e da Caixa Econômica Federal, permitiram que as famílias dos assentados tivessem, a partir de 2004, uma autonomia para gerir esse crédito. As famílias passaram a ter casa construída em alvenaria, com água e energia elétrica. Antes de essa modalidade de crédito ser implantada, os assentados eram instalados em seus lotes e moravam em condições precárias. As famílias também não tinham acesso a água ou energia elétrica. Os movimentos sociais contratavam o engenheiro e uma equipe a fim de elaborar os projetos básicos e prestar assistência técnica às obras e ao mutirão, enquanto o próprio Incra realizava a compra dos materiais de construção civil. Mas a realidade mostrou-se mais complicada. Passados alguns anos, as famílias não puderam receber todos os materiais para a construção de suas casas: somente alguns, como cimento, pedra e areia, puderam ser entregues com mais rapidez, mas muitas vezes o cimento era armazenado em salões de igrejas para que os assentados pudessem, manualmente, buscá-lo.

Ao longo da história da humanidade, as habitações foram construídas a partir de materiais variados nas diferentes regiões do planeta. Em cada re-

gião empregavam-se os materiais abundantes no local, que eram utilizados como elementos estruturais necessários para a habitação. A escolha era influenciada por aspectos culturais e étnicos. Os materiais eram processados de maneira rudimentar ou utilizados em estado bruto, sempre envolvendo a coletividade.

Historicamente, as construções com terra batida são as mais antigas. Eram utilizadas na região da Mesopotâmia e no Antigo Egito, devido à disponibilidade da argila na barranca dos rios como recurso natural disponível. Outros povos, como os sumérios, babilônios, chineses, assírios e astecas, utilizavam-se desse processo construtivo para suas habitações domésticas. Pouco a pouco foram misturando pedras, palhas, madeiras e até mesmo folhas de coqueiro. Em países como França, Alemanha e Brasil, na América Latina, são encontradas habitações em *taipa* com duração de mais de 300 anos, como se verifica em igrejas, castelos e moradias (Dethier, 1993).

O bambu é uma espécie vegetal pertencente à família das Gramineae, com aproximadamente 45 gêneros e mais de mil espécies catalogadas e espalhadas pelo mundo. Matéria-prima de baixo custo e de fácil apropriação, o bambu pode ser encontrado com facilidade em todo o território brasileiro (Salgado et al., 2002). Dentre os vários países latino-americanos onde o bambu se desenvolve, o Brasil reúne o maior número de espécies da planta, algumas nativas e outras exóticas (Graça, 1988).

Esse material é destacado nas pesquisas de Hidalgo-López (2003) e Ghavami (1992) sobre materiais alternativos empregados na construção civil. Em países como o Brasil, esses autores apontam o bambu como um ativo ambiental de grande potencial construtivo, dadas as suas características físicas e mecânicas.

Segundo relata Cardoso (2000), a utilização do bambu se ajusta às vidas dos agricultores familiares, entre eles os assentados. Os produtos e derivados do bambu preenchem com facilidade usos diversos, muitas vezes com mercado valorizado e sofisticado: indústria da construção civil e edificações – usado em estruturas (substitutivo do aço no concreto aramado, tubulares, treliças, laminadas, etc.), habitações sociais/equipamentos públicos, pontes, estabilizações de estradas, drenagem, contenção de taludes e postes, indústria de pré-fabricados, vedações tubulares, vigamentos, blocos, painéis, telhas e estruturação de forros. Também pode ser utilizado em auxiliares da mesma indústria tais como andaimes, escadas, formas. O bambu pode ainda ser transformado em laminados, em pisos e rodapés, forros, lambris, portas etc.

Segundo Korte (2014), o bambu é uma planta sustentável e economicamente viável para os produtores rurais do Mato Grosso do Sul. Na mesma

área, é possível realizar esse tipo de cultivo durante aproximadamente 70 anos, e para a colheita não são necessários grandes equipamentos. O Brasil possui 1,5 milhão de hectares de bambu plantado e nativo. A área referente ao plantio de bambu no Mato Grosso do Sul ainda é pequena, pois até o momento foram feitos apenas alguns experimentos com a floresta plantada. A espécie nativa é a *Guadua chacoensis*, considerada uma das melhores do ponto de vista comercial, entre mais de 1,3 mil espécies.

Apesar das vantagens listadas na literatura nacional e internacional, o bambu é ainda pouco utilizado no Brasil e ainda menos em residências do meio rural. Por isso, nosso objetivo neste trabalho foi analisar a percepção dos assentados do uso do bambu como um material alternativo para a construção de casas nos assentamentos rurais do Mato Grosso do Sul.

Material e métodos

A primeira fase da pesquisa concentrou-se no levantamento de informações secundárias, por meio de revisão bibliográfica sobre o uso de bambu na construção civil. Após a revisão bibliográfica, foi realizada a coleta de dados primários a partir de uma pesquisa exploratória.

Foi aplicado um questionário com 50 famílias em assentamentos rurais do estado, com o objetivo de investigar a aceitação desse material alternativo na construção das moradias rurais em uma residência de 60m², área compatível com os diversos projetos disponibilizados pelo Incra para os assentamentos rurais.

As entrevistas foram feitas em oito cidades do Mato Grosso do Sul: Bela Vista, Eldorado, Itaquirai, Mundo Novo, Jardim, Naviraí, Nioaque, Bataguassu. Nas cidades visitadas, foram entrevistados assentados, verificando a presença de bambu ou o interesse por parte dos produtores na produção dessa cultura. Os entrevistados foram escolhidos em amostragem não probabilística por conveniência, sendo maiores de 18 anos e abrangendo diversas classes sociais. A pesquisa investigou as seguintes questões:

- Conhecimento sobre o cultivo e a construção civil a partir de bambu: essas perguntas têm relevância para saber o grau de conhecimento do entrevistado sobre o uso do bambu, permitindo explicar por que no Brasil não se usa esse material na construção civil, ao contrário de em outros países da própria América do Sul.

– Existência de bambu nos assentamentos visitados (quantidade, variedade e uso atual): a resposta a essa pergunta permite avaliar a possibilidade do início rápido de um projeto de construção de habitações populares e a necessidade de produção de mudas.

– Interesse dos assentados na implantação do cultivo de bambu para uso como material de construção: a falta de interesse dos produtores inviabilizaria o início de um projeto habitacional com uso de matéria-prima local. Nesse caso, seria necessário avaliar a possibilidade de desenvolver o projeto com o uso de material comprado de produtores especializados.

– Interesse dos assentados em participar da construção de suas casas: um projeto habitacional a partir do bambu pode envolver as próprias famílias na construção de suas casas ou na contratação de mão de obra especializada. O envolvimento das famílias demandará a realização de treinamentos nos assentamentos. Esses treinamentos acarretarão custos, mas estes serão mínimos em relação à economia de mão de obra obtida. A contratação de empresas especializadas necessitará de esforços menores de formação, mas ocasionará custos maiores de construção.

Resultados e discussão

O uso de materiais alternativos ou sua combinação com materiais convencionais é uma alternativa ecologicamente adequada para construções de baixo custo e com ênfase na área rural. Essa opção depende sobremaneira da disponibilidade local dos recursos naturais.

É importante ressaltar a grande diversidade de origens dos produtores entrevistados. Dos 50 entrevistados, apenas 21 eram originários do Mato Grosso do Sul – ou seja, 40% dos entrevistados.

A pesquisa mostrou que os 50 assentados entrevistados conheciam a existência do bambu e mostraram interesse nessa cultura, mas a maioria desconhecia a possibilidade de uso do bambu em construção. Não entanto, foi possível perceber a influência do estado de origem dos assentados: a maioria dos entrevistados que conhecia esse tipo de uso era originária dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná.

Além da importância do estado de origem, foi verificada a influência da renda e da educação sobre o nível de conhecimento da utilização de bam-

bu em construção civil. Em relação à renda, foi identificada a ausência de correlação com o conhecimento desse tipo de uso. Dos 50 entrevistados, 24 possuíam renda entre um e dois salários mínimos; 19 viviam com menos de um salário; e, para 7 produtores, a renda era superior a dois salários mínimos.

Para avaliar a influência do nível de educação, a população foi dividida em grupos: sem estudos, com o ensino fundamental completo ou incompleto e com o ensino médio completo ou incompleto (figura 1). Os resultados indicam claramente que o nível de estudo dos produtores entrevistados tem uma ligação direta com o conhecimento da utilização do bambu como matéria-prima na construção civil. Normalmente, as pessoas que necessitam de casas populares são pessoas com menor nível de instrução e, em consequência, não conhecem a possibilidade de construir casas de bambu. Isso indica a necessidade de informação dos produtores que poderão se beneficiar desse tipo de construção.

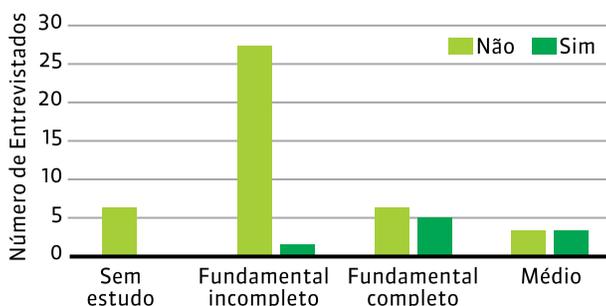


Figura 1. Número de produtores entrevistados que conhecia o uso de bambu na construção de casas, em função do nível de educação

Quando se compara o conhecimento do uso do bambu na construção de casas, em galpões e na alimentação, o primeiro uso apareceu como o mais conhecido, enquanto o de galpão, de aplicação relativamente mais fácil, foi menos citado. O uso na alimentação, apesar da facilidade, foi o menos citado.

Durante as visitas, foram observadas casas de bambus construídas com a espécie *giganteus*, que não sofreu nenhum tratamento para aumentar sua vida útil. No entanto, os produtores conheciam a técnica de quebrar o bambu e posteriormente rachá-lo para que fique plano e, assim, possa ser pregado na estrutura da casa como parede. Essa técnica de planificar o bambu se chama *esterilla*, muito comum na Colômbia.

As propriedades visitadas não tinham cultivo de bambu, mas a maioria das pessoas entrevistadas conhecia locais com essa cultura na região. Entre os entrevistados, 84% (42 pessoas) mostraram interesse em cultivar bambu caso a cultura se mostrasse rentável. Isso significa que não existem grandes barreiras à implantação dessa cultura.

A pesquisa avaliou cinco qualidades fundamentais para uma casa, como resistência, conforto, custo, manutenção e aparência, com avaliação de 1 a 5 em relação à importância desses itens para os entrevistados (figura 2). A resistência física foi considerada o item de maior importância, frente ao custo. O conforto e a facilidade de manutenção foram as duas qualidades de uma casa que os entrevistados consideraram menos importantes.

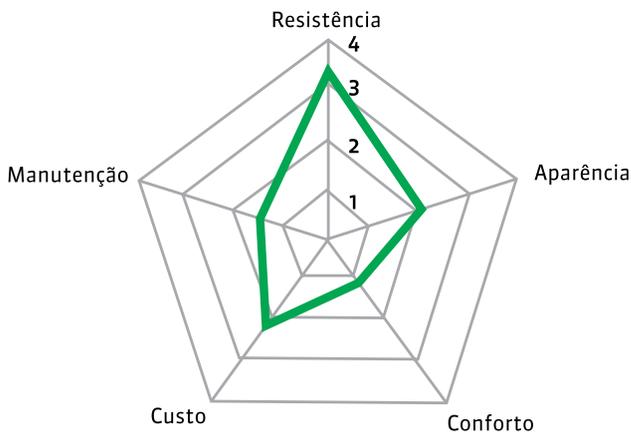


Figura 2. Preferências dos produtores entrevistados em relação às características necessárias para uma casa (1 = menor preferência; 5 = maior preferência)

Essas informações permitem entender o receio da população com as construções de bambu, pois, quando perguntados como imaginavam a resistência de uma casa de bambu, a maioria dos produtores entrevistados indicou uma casa mais fraca que uma casa comum. Quando responderam se achariam a casa de bambu mais barata ou mais cara do que a casa comum, a maior parte respondeu que a casa de bambu seria muito mais barata. Esse resultado comprova a visão da população de que as construções de bambu seriam frágeis e baratas.

Para construir residências com segurança, é necessário estabelecer critérios técnicos confiáveis de projeto, dimensionamento, legislações pertinentes e, conseqüentemente, o emprego de processos industriais do ponto de vista econômico.

É fácil argumentar que o uso de bambu permite uma construção resistente, pois, ao contrário de outros materiais alternativos, existem normas técnicas para utilização de bambu em construção civil, propostas pela International Network for Bamboo and Rattan (Inbar, 1999) e pelo International Code Council (ICC, 2000). O bambu é um material nobre que pode ser usado para quase tudo, de construção de estruturas para telhados, paredes, elementos estruturais nas edificações, cercas, mobiliário e andaimes, além de substituir o aço nos elementos estruturais. Seu crescimento é rápido em todo tipo de solo. Características intrínsecas, dimensionais e de resistência dão a esse elemento vantagens em relação a outros materiais de construção na natureza (Ghavami & Souza, 2000).

O bambu apresenta excelentes características físicas e, segundo descrevem Ghavami e Souza (2000), seus colmos possuem características de leveza, força, dureza, fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho, que são ideais para diferentes propósitos tecnológicos.

Cardoso (2000) defende o desenvolvimento de materiais com base em recursos renováveis como o bambu, que pode ser utilizado nos painéis de vedação, elementos estruturais – vigas e pilares – e cobertura.

Segundo Ghavami e Souza (2000), para poder utilizar o bambu em grande escala como material de engenharia economicamente viável e com possibilidade de industrialização é necessário um estudo científico e sistemático dos processos de plantação, colheita, cura, tratamento e pós-tratamento, além de uma completa análise das propriedades físicas e mecânicas do colmo do bambu inteiro. As inúmeras utilizações do bambu podem ser ampliadas com a melhoria de sua resistência, utilizando-se métodos mais aperfeiçoados de colheita, secagem e imunização contra fungos, carunchos e contra a seca excessiva.

O uso de bambu na construção civil de moradias rurais, além de ser perfeitamente possível, permitirá suprir uma necessidade muito grande no Brasil para esse tipo de habitação. No caso de assentamentos do Incra, cada assentado recebe um crédito inicial para compra de material de construção de R\$ 15.000. No caso do uso desse material a partir do plantio na própria propriedade ou do plano de manejo definido no PDA, o custo desse material poderia ser reduzido.

Portanto, não se deve pensar no bambu como uma solução para os problemas relacionados ao meio ambiente ou à diminuição da retirada e exploração dos recursos florestais. Ele deve ser considerado como um importante material de construção, de baixo custo, a ser amplamente explorado nas áreas rurais.

Conclusões

1. Esta pesquisa permitiu identificar o grande interesse dos produtores em conhecer mais sobre o cultivo de bambu e seu aproveitamento em construção civil, apesar da falta de informações sobre essa cultura. No entanto, quando interrogados sobre o tipo de construção imaginado para o bambu, a maioria dos entrevistados pensou em casas frágeis e baratas.
2. Essas respostas estão de acordo com o tipo de casa encontrado nas visitas: casas que serviam de abrigo para os assentados enquanto esperavam a construção de uma casa de alvenaria a partir dos financiamentos do Incra.
3. A diferença entre os benefícios e a imagem do bambu indicou a necessidade de um processo de conscientização da população para o desenvolvimento de um projeto de construção de casas populares de bambu.
4. A elaboração de uma cartilha descritiva dos processos construtivos com bambu poderia ser o primeiro passo para divulgar e oferecer oficinas de treinamento e formar multiplicadores para iniciar essa nova sistemática.
5. A eficácia do bambu na construção civil rural é comprovada, porém faz-se necessário que as espécies sejam plantadas em abundância e que, no Plano de Desenvolvimento de cada assentamento, seja elaborado junto ao Incra o próprio plano de manejo das espécies nativas encontradas localmente. Para as espécies exóticas, o plantio pode ser planejado por meio do crédito de instalação, reformulado pela Lei 13.001/14, estabelecido pelo Incra para os agricultores familiares no processo de instalação das famílias no lote. Para o uso do bambu nas moradias rurais, devem ser feitos tratamentos adequados para prolongar a vida útil da planta, com a necessidade de se formar mão de obra especializada e, principalmente, é preciso implantar políticas públicas de incentivo ao uso do bambu na construção civil, para que ele possa ser utilizado nos assentamentos.

Agradecimentos

Ao Conselho nacional de Pesquisa, Projeto Desenvolvimento sustentável da região Centro-Oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu, CNPq – Processo 574 516/2008-5

Referências

- ABRAMOVAY, R. Agricultura familiar e uso do solo. **São Paulo em perspectiva**, vol.11, n.2, 1997.
- ALVES, J.D. **Construção civil e sustentabilidade**. Goiânia: Editora PUC, 2012.
- BAIARDI, A. Formas de agricultura familiar, à luz dos imperativos de desenvolvimento sustentável e de inserção no mercado internacional. In: **Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**. Foz do Iguaçu: Sober, 1999. p.285-297.
- BERGAMASCO, S.M.; NORDER, L.A.C. **O que são assentamentos rurais**. São Paulo: Brasiliense, 1996.
- BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 11.326, de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União** – Seção 1 – 25/7/2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm>. Acesso em 3 abr. 2015.
- BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 13.001, de 20 de junho de 2014. Dispõe sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária. **Diário Oficial da União** – Seção 1 – Edição Extra – 23/6/2014. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13001.htm>. Acesso em 26 mai. 2015.
- BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União** – Seção 1 – 28/5/2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 20 mar. 2015.
- BUAINAIN, A.M; GARCIA, J.R. **Os pequenos produtores rurais mais pobres ainda têm alguma chance como agricultores?** Brasília: CGEE, 2013.
- CARDOSO, J.R. Arquitetura com bambu. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Convênio Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal (Uniderp) e Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2000.
- CORREIA, V.C. Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentíceas. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2011.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução N° 307, de 5 de julho de 2002. Publicada no DOU n° 136, de 17/07/2002, p.95-96.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009. Publicado no DOU n° 249, de 30/12/2009, p.81-84.
- DETHIER, J. **Arquiteturas de terra, ou o futuro de uma tradição milenar**. Lisboa: Litografia Tejo, 1993.
- FURTADO, R.; FURTADO, E. **A intervenção participativa dos atores (INPA) – uma metodologia de capacitação para o desenvolvimento local sustentável**. Brasília: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), 2000.
- GHAVAMI, K. Bambu: um material alternativo na engenharia. **Revista do Instituto de Engenharia**, São Paulo, n.492, p.23-27, 1992.
- GHAVAMI, K.; SOUZA, M.V. de. Propriedades mecânicas do bambu. Rio de Janeiro: Relatório Interno apresentado ao PIBIC, PUC-Rio, 2000.



- GRAÇA, V.L. **Bambu, técnicas para o cultivo e suas aplicações**. São Paulo: Ed. Icone, 1988.
- ICBO. **Acceptance criteria for structural bamboo**. Whittier, CA: ICBO Evaluation Service Ltd., 2000.
- INTERNATIONAL CODE COUNCIL - ICC. **International Building Code**. Building Officials and Code Administrators International, Inc.; International Conference of Building Officials and Southern Building Code Congress International, Inc., 2000. 820 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>>. Acesso em 01 abr. 2015.
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Assentamentos**. 2015. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/assentamento>. Acesso em 01 jun. de 2015.
- KORTE, G. Palestra no seminário “Biomassa e madeira nobre: novas oportunidades de negócios”. Federação da Agricultura e Pecuária de MS (Famasul), Campo Grande, 2014.
- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Colômbia: D’Vinni Ltda, Part. v.4, p.142-153, 2003.
- NAVARRO, Z. A agricultura familiar no Brasil: entre política e as transformações da vida econômica. In: GASQUES, J.G; VIEIRA F, J.E.R.; NAVARRO, Z. (Orgs.). **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: IPEA, 2010.
- SALGADO, A.L. de B.; GODOY JR., G.O. O bambu no Brasil em nossa vida, nossa cultura, seu cultivo e utilização. In: **Anais do Seminário Internacional, Cursos e Mostras – O Uso do Bambu na Construção Civil**, Maceió, 2002.
- SCHNEIDER, S. **A pluriatividade na agricultura familiar**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003.
- SILVA, C.G.T. Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua (Dissertação de Mestrado). Ministério da Saúde. Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz. Subárea: Saneamento e Saúde Ambiental, 2000.
- THE INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATTAN (INBAR). In: **International Model Building Code for Bamboo**, 1999.
- TORGAL, F.P.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review. **Construction and Building Materials**, 2011.
- VAN DER LUGT, P.; JANSSEN, J.J.A.; VAN DER D.A.A. An environmental, economic and practical assesment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and Building Materials**, 2006.



Sistema construtivo em bambu para habitação de interesse social



Paula Regina da Cruz Noia⁽¹⁾ e Erica Yukiko Yoshioka⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratório de Culturas Construtivas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU), Universidade de São Paulo (USP). Rua do Lago, 876, 05508-900. São Paulo, Brasil. E-mails: paula.noia@usp.br e ericayy@usp.br

Resumo – A grande capacidade produtiva e a facilidade de processamento tornam o bambu um material de abrangente inserção na construção civil de diversas culturas. No Brasil, seu uso restringe-se a pequenas construções de baixa tecnologia, o que compromete a imagem de durabilidade do material e gera ressalvas à sua utilização. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento e a difusão de tecnologias construtivas apropriadas, bem como a formação e capacitação de mão de obra, para a consolidação de seu uso no país. O presente trabalho visa desenvolver mecanismos para a criação de um sistema construtivo para habitação de interesse social em bambu adaptado ao contexto brasileiro, especificamente ao da região do Vale do Ribeira, SP. A metodologia utilizada no trabalho foi experimental e baseou-se nas características socioambientais do Vale do Ribeira e nas normas colombianas de construção em bambu vigentes. Foi realizada pesquisa teórica e construído um protótipo. Ambas as etapas desempenharam importante função na avaliação da empregabilidade dos procedimentos pesquisados. Constatou-se a importância do desenvolvimento do projeto arquitetônico para a otimização da vida útil do material assim como para a viabilidade da construção de habitação de interesse social em bambu nos aspectos qualitativo e quantitativo da mão de obra.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: CULTURAS CONSTRUTIVAS, AUTOCONSTRUÇÃO, *DENDROCALAMUS GI-GANTEUS*, *BAMBUSA TULDOIDES*.

Bamboo construction systems for social housing

Abstract – *Bamboos have great productivity and easiness of processing, which make it a material of comprehensive insertion in construction in different cultures. In Brazil, it is usually used in small low-tech buildings, which compromises its image as a highly durable material and generates reservations to its use. Thus, it is necessary to develop and disseminate appropriate building technologies and form skilled workforce so that it can be consolidated as a viable material in Brazilian construction. This work aims to develop mechanisms to create a constructive system for bamboo social housing in the Brazilian context, attending particularly to the specificities of Vale do Ribeira region, in Sao Paulo. The methodology used is experimental and based on the context of the Vale do Ribeira communities and on Colombian bamboo construction standards currently in effect. A theoretical research was carried out and a prototype was built. Both steps have played an important role in assessing the employability of the construction procedures. The survey demonstrated the importance of developing the architectural design to optimize the material lifespan and pointed issues regarding qualitative and quantitative aspects of the workforce necessary to the feasibility of social housing constructions in bamboo in Brazil.*

INDEX TERMS: BAMBOO, CONSTRUCTIVE CULTURES, SELF-CONSTRUCTION, DENDROCALAMUS GIGANTEUS, BAMBUSA TULDOIDES.

Introdução

O presente trabalho apresenta os resultados de estudo que teve como objetivo geral o desenvolvimento de sistemas construtivos em bambu baseados no contexto das comunidades caiçaras e ribeirinhas do Vale do Ribeira, região que se estende entre o sul de São Paulo e o norte do Paraná. O estudo buscou sistemas que incorporem atividades social e ambientalmente sustentáveis, de modo a contribuir para responder questões econômicas, ambientais e sociais do universo das comunidades da região. Sendo o bambu um material abundante no Vale do Ribeira, seu uso na construção civil pode ajudar a gerar trabalho e renda e a ampliar a formação e a qualificação da mão de obra. O tema é relevante no contexto de comunidades, pois estimula questões como o desenvolvimento de processos de construção autônomos e a valori-

zação do sujeito autor de seu próprio espaço, contribuindo para formas de desenvolvimento contextual com raízes legítimas, integradas a um modo de vida e à cultura local.

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizados dois estudos prévios: uma revisão bibliográfica sobre o contexto do Vale do Ribeira e outra sobre o bambu como matéria-prima para a construção civil e suas aplicações. Chegou-se a um compêndio de informações sobre esses assuntos baseado no contato direto com o universo em questão e com a construção habitacional em bambu realizada na Colômbia. A escolha do universo normativo colombiano para a produção habitacional em bambu se deu devido à tradição que o país possui em tal cultura construtiva. A proposta, se não representa uma solução à questão habitacional local do ponto de vista tecnológico, representa uma primeira aproximação do que pode ser uma alternativa satisfatória em contexto semelhante ao dos estudos de caso realizados durante a pesquisa.

Houve ainda um momento de experimentação prática durante o qual se construiu um protótipo de um módulo da habitação proposta, configurando um ensaio de viabilidade construtiva das técnicas empregadas, de modo a evidenciar e entender questões relativas ao processo antes de sua aplicação no contexto para o qual foi pensado.

Material e métodos

O trabalho dividiu-se em duas partes, o projeto e o protótipo. A metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto baseou-se no contexto específico das comunidades caiçaras e ribeirinhas do Vale do Ribeira, em estudos de caso de projetos de habitação de interesse social em bambu e nas normas de construção colombianas vigentes para a construção com a espécie *Guadua angustifolia*.

Em relação ao contexto específico, as premissas sociais e as características socioculturais das populações do Vale do Ribeira foram o embasamento principal para que a proposta se adequasse ao contexto das comunidades caiçaras e ribeirinhas. Entre tais premissas estão: a assimilação da arquitetura tradicional, valorizando o saber popular e seu espírito construtivo funcional; a cultura construtiva intimamente ligada ao meio, utilizando parcimoniosamente as matérias-primas existentes e de fácil alcance; o envolvimento do usuário/produzidor com o processo construtivo, tornando-o artífice do seu meio; o processo produtivo que promova articulação comunitária e estreitamento de relações e que possibilite formação da mão de obra, consequentemente proporcionando autonomia comunitária (Noia, 2012).

O contexto também gerou premissas técnicas relacionadas às culturas construtivas, como a busca por autonomia produtiva e autonomia na provisão de matérias-primas, o respeito à tradição coletiva das organizações sociais, onde a construção é realizada com ajuda mútua, sob a forma de mutirão, e a construção das habitações em etapas, conforme demanda da família. Considerou-se também a familiaridade com técnicas construtivas em terra crua (pau-a-pique, terra batida, reboco de terra), com técnicas construtivas em madeira e fibras naturais (vedação em madeira, bambu, estrutura pau-a-pique, coberturas em sapê e folhas de palmeiras) e com a mescla de técnicas, além da assimilação de novas e antigas técnicas concomitantemente, bem como a sobreposição de técnicas (Noia, 2012).

As premissas do contexto específico justificam o emprego do bambu como material. Além de ser uma cultura adaptada às condições locais e já produzida no Vale do Ribeira, o bambu é um importante item na regeneração e proteção ambiental, e seu uso representa um alívio à pressão para a exploração de madeiras em ecossistemas ameaçados. O bambu tem ainda grande rendimento anual por unidade de área, todo o processo produtivo da matéria é de fácil domínio e representa importante meio de formação social, inserindo e qualificando a população. As espécies de bambu mais abundantes no local, as entouceirantes *Dendrocalamus giganteus* (popularmente conhecida como bambu-gigante) e *Bambusa tuldoides*, foram escolhidas para a elaboração do projeto.

O segundo fator determinante para a elaboração do projeto foram exemplos de projetos de habitação de interesse social em bambu. As experiências presentes em Sanchez e Tole (2008), Molina e Soto (2002) e Pereira et al. (2011) foram analisadas sob aspectos produtivos, técnicos e sociais e representam uma aproximação às questões contextuais da presente pesquisa, ajudando a gerar respostas para seu norteamento.

Dentre os quesitos avaliados em cada caso estudado, foram delimitados alguns que se adéquam à realidade do projeto. Considerou-se, por exemplo, que a iniciativa deve ser local, conduzida por associação de produtores rurais e artesãos da região sob a forma de autoconstrução, empregando mão de obra local e baseada em ajuda mútua, gerando possibilidade de financiamento junto a órgãos públicos. O projeto arquitetônico, apesar de ter passado por uma primeira abordagem, pode ser desenvolvido em conjunto conforme necessidades particulares de cada família. O projeto parte de uma habitação unifamiliar térrea de variadas tipologias e metragens, e, sendo um projeto modular adaptável quanto à espacialidade, pode gerar subprodutos de acordo com a incorporação da técnica (figura 1). O processo parte da apropriação



de algumas técnicas pesquisadas e da adaptação de outras, culminando com a criação de uma estrutura específica que, ao consolidar-se, configura um espaço de trabalho e produção. Os materiais são predominantemente de extração local (bambu, terra estabilizada) e poucos componentes de conexão.

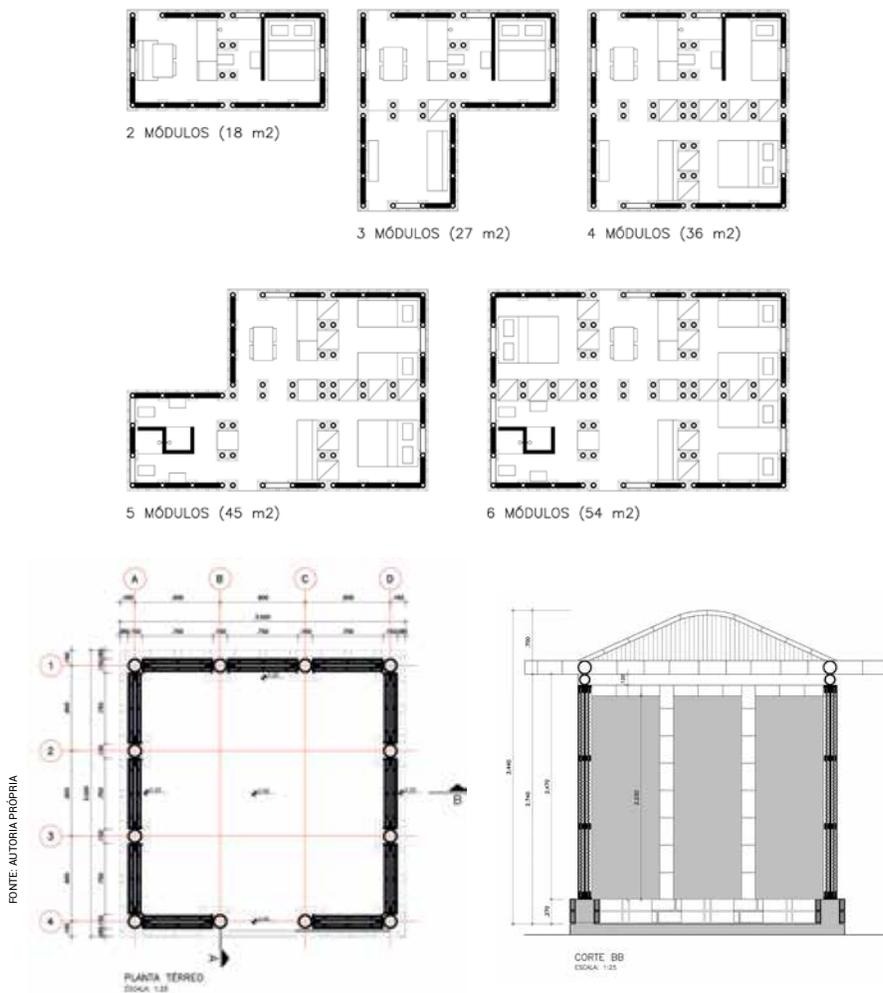


Figura 1. Possibilidades de ampliação da habitação pela união de módulos e módulo projetado para protótipo

O último fator metodológico foi o normativo, baseado nas normas colombianas para o processo de tratamento e construção com a espécie *Guadua angustifolia* Kunth. Trabalhou-se especificamente com a NTC

5300 (“Cosecha y Poscosecha de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth”), a NTC 5301 (“Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth”) e a NTC 5407 (“Uniones de estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth”). Apesar do uso do bambu *Dendrocalamus giganteus* como elemento estrutural, a norma baseada na espécie *G. angustifolia* foi utilizada por ser, dentre as normas de construção existentes, a que mais se aproxima da espécie. Esse fator, de caráter técnico, balizou as decisões de projeto relacionadas às conexões, bem como definiu o processo de colheita e tratamento do bambu utilizado.

A opção pela habitação modular tem diversas justificativas. Primeiramente, tal condição possibilita diversas opções de arranjo espacial, configurando as mais variadas implantações. Em segundo lugar, a habitação composta por espaços modulares promove liberdade de definição das necessidades do projeto pelo próprio usuário, possibilitando variados modelos de habitação com diferentes metragens. Possibilita ainda que a construção seja feita em etapas interdependentes, de acordo com a necessidade de cada família, configurando importante premissa pesquisada nas práticas de autoconstrução do Vale do Ribeira (Sebá, 1986). Por fim, a modulação contempla a necessidade de uma racionalização da subdivisão espacial do sistema estrutural, garantindo um sistema construtivo que se distribui homoganeamente, como os sistemas construtivos em bambu demandam. Ou seja, representa um importante método de apropriação pelo usuário do projeto arquitetônico sem deixar de contemplar as demandas técnico-construtivas que garantem a qualidade e segurança da edificação, como tamanho dos vãos, aberturas mínimas para insolação e ventilação, entre outros.

A modulação dos espaços é feita a partir da unidade de 3m x 3m, que configura o embrião desencadeador do desdobramento dos espaços, conforme a necessidade do projeto. O acréscimo de módulos é feito sem sobreposição das componentes estruturais, ou seja, através do dobramento de pilares e vigas.

O processo construtivo deve ocorrer em torno de uma linha de produção organizada pelos habitantes locais. Com a montagem de uma pequena infraestrutura comunitária, os habitantes podem trabalhar todo o processo de produção do bambu a ser utilizado na construção, incluindo colheita, tratamento, beneficiamento, pré-fabricação de peças, até a montagem. Essa estrutura, de baixa tecnologia, exige ferramentas predominantemente manuais, configurando um canteiro de construções de baixo investimento.

Quanto aos elementos construtivos, as fundações elaboradas podem ser

do tipo fundações rasas, como sapatas corridas ou *radiers*, dependendo do caso do solo. No projeto desenvolvido, foi escolhida a fundação em *radier* pela característica dos solos moles com baixa resistência. Na execução do *radier* já se concretam as esperas para os pilares da estrutura em bambu. A estrutura, leve, é composta por peças de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* de aproximadamente 15cm de diâmetro. O sistema escolhido foi o convencional viga-pilar, por ser um sistema análogo aos sistemas das tradicionais cabanas de madeira caiçara. Os encaixes foram feitos em boca de pescada adaptado para corte reto, priorizando a simples execução, e elementos de conexão de baixo custo, como barras roscadas, parafusos e graute para estabilização das conexões, conforme a norma NTC 5407.

A vedação é composta por painéis tramados de bambu da espécie *Bambusa tuldoides*, compondo painéis diafragma que contraventam a estrutura de bambu-gigante. Os painéis são estruturados por ripas de madeira de 5cm x 2cm e tramados com taliscas extraídas de *B. tuldoides*. Após tramados, é fixada sobre os painéis uma malha de tela de viveiro para melhor adesão do reboço. Os painéis são barreados com solo-cimento, fazendo alusão à técnica de pau-a-pique comumente empregada nas comunidades ribeirinhas da região. Após o barreado, o painel é rebocado e acabado. O acabamento serve como proteção às intempéries, uma vez que o ambiente litorâneo é agressivo. Essa técnica assemelha-se à tradicional técnica construtiva peruana em terra crua chamada *quincha*. Há ainda no tramado dos painéis a referência ao trabalho sobre painéis em trama de bambu para vedação de moradias realizado por Pereira et al. (2011) e também à técnica da confecção de cestarias, amplamente praticada entre os artesãos locais.

Em relação ao protótipo, tanto as conclusões determinadas pelo resultado obtido na sua construção quanto o próprio processo de produção foram objeto de avaliação pautada nos elementos balizadores e restritivos do universo das comunidades caiçaras e ribeirinhas do Vale do Ribeira (figura 2).

O protótipo de viabilidade construtiva foi construído no Ganteiro Experimental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP), utilizando o espaço físico e a infraestrutura ali existentes, com auxílio do Laboratório de Modelos e Ensaios (LAME). O escopo do protótipo foi avaliar, em seu processo de construção, o desempenho e a viabilidade construtiva das técnicas propostas em um ambiente de trabalho com estrutura e mão de obra similar ao que é encontrado nas comunidades para o qual o projeto foi pensado. O protótipo contempla a estrutura de um módulo da unidade habitacional de 3 m x 3 m, suas respectivas conexões e o teste de painéis de vedação.



Extração de colmos de *Dendrocalamus giganteus* da touceira com auxílio de motosserra



Colmos de *Dendrocalamus giganteus* em imersão em solução de octaborato

Beneficiamento de colmos de *Dendrocalamus giganteus*



Orifícios fechados após aplicação do graute nos pilares



Encaixes viga/pilar





Protótipo finalizado



Protótipo com fundação em radier



Painéis tramados com *Bambusa tuldooides*

Abraçadeiras metálicas fixadas nos pontos de maior solicitação trazem maior rigidez à estrutura

Figura 2. Processo de elaboração do protótipo

Foram escolhidos colmos das espécies entouceirantes *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa tuldooides* por serem registradas como espécies presentes em abundância na região do baixo Vale do Ribeira. A primeira, conhecida como bambu-gigante, funciona como estrutura principal, dada a grande espessura de parede do colmo. Foram escolhidos exemplares de diâmetro de 16cm que, estimou-se, possuíssem três ou mais anos de idade e que apresentassem um aspecto retificado e uniforme em sua extensão útil. Colmos de *B. tuldooides* foram extraídos para construção da estrutura secundária e de vedação dos painéis, devido a sua menor espessura de parede e maior maleabilidade. O local escolhido para a extração das espécies foi o Viveiro de Plantas da USP devido à existência das espécies e pela viabilidade do transporte do material.

Usando como referência metodológica a norma técnica colombiana NTC 5300, sobre colheita e pós-colheita do colmo de *Guadua angustifolia*, iniciou-se o processo de seleção e marcação dos colmos a serem retirados. Os colmos destinados a usos estruturais devem ser maduros, com idade mínima de três anos (Hidalgo-López, 2003), pois o amadurecimento dos tecidos constituintes do bambu entre o terceiro e sétimo ano garante ao material maior resistência mecânica. Além de terem o estado de maturidade passível de ser reconhecido visualmente, os colmos escolhidos deveriam ser saudáveis, sem danos causados por fungos e/ou insetos, como perfurações, e não apresentar defeitos, como rachaduras, perfurações e outros danos físico-mecânicos.

A avaliação dos colmos que cumprem tais requisitos é complexa, sendo que o método prático estabelecido comumente é a observação de algumas características físicas dos colmos da touceira. O colmo jovem apresenta uma coloração mais verde, possui folhas caulinares em seus nós inferiores e, em geral, está localizado na parte externa da touceira, no caso dos bambus entouceirantes. Já os colmos com mais de três anos possuem coloração amarelada, já perderam as folhas caulinares, localizam-se mais ao interior da touceira e apresentam em sua parede externa manchas causadas por líquens (Pereira & Beraldo, 2008). Seguindo esses critérios, foram escolhidos 12 colmos de *D. giganteus* com aparência madura e 20 colmos de *B. tuldooides* com aparência mais jovem, para garantir a flexibilidade.

A colheita periódica de colmos das touceiras configura um bom procedimento de manejo, uma vez que possibilita espaço para o crescimento de novos colmos. O momento ideal para corte de colmos dos bambus entouceirantes é a estação de seca, quando a umidade é menor e, conseqüentemente, a quantidade de seiva também é menor, diminuindo o risco de ataque de insetos xilófagos. Segundo Montoya (2002), o melhor período para a colheita dos bambus é o inverno, quando os bambus estão com mais amido em suas raízes,

armazenando reservas para o surgimento de novos brotos. No hemisfério sul, essa fase se dá entre maio e agosto. Para a elaboração do protótipo, a colheita foi feita no mês de maio.

É frequente na sabedoria popular sobre o manejo do bambu a recomendação que os cortes sejam realizados na fase lunar minguante. Janssen (1995) conclui que não há relação entre o corte baseado no calendário lunar e o ataque de insetos xilófagos. No entanto, afirma que não há nenhum impedimento técnico para a prática de tal crença, quando for o caso. Outra recomendação é que o corte seja realizado durante a madrugada ou cedo pela manhã, quando a atividade de fotossíntese ainda não se iniciou e, portanto, há menos líquido no interior do colmo (Sanchez & Tole, 2008).

O corte dos colmos para a construção deve ser sempre realizado aproximadamente 30cm acima do solo para espécies entouceirantes, na parte superior do primeiro ou segundo nó e logo rente ao mesmo, para evitar o acúmulo de água e o possível apodrecimento do colmo restante e, conseqüentemente, do rizoma. Esse procedimento pode ser feito utilizando um machado, facão ou motosserra, dependendo da espécie escolhida. No caso de *Dendrocalamus giganteus* foi utilizada a motosserra e, no caso da espécie *Bambusa tuldoides*, o facão foi o instrumento adequado. É necessário ressaltar a importância de tal procedimento ser feito por um operador capacitado e usando as ferramentas de proteção adequadas.

Imediatamente após o corte é necessário preparar os colmos para o tratamento preservativo. Uma maneira de fazê-lo é iniciar o processo de cura/maturação na mata, considerado um tratamento tradicional que busca conservar as características e propriedades naturais do bambu, evitando a deterioração prematura do material.

O processo consiste na colocação dos bambus, logo após o corte, em posição vertical sobre uma pedra ou superfície impermeável para que o processamento da seiva que ainda existe em seu interior elimine ao máximo o amido e para que esse processo de fermentação evite o ataque de insetos. Esse procedimento dura três semanas. No presente estudo, após a cura do colmo como um todo, foi necessário dividi-lo em partes menores para facilitar o transporte até o local de tratamento, o Canteiro Experimental da FAU/USP.

Em linhas gerais, o bambu jovem, devido à baixa dureza do talo, tem seu uso restrito à fabricação de cestarias, painéis e *esterillas*. Já o bambu maduro pode ser usado na construção e fabricação de taliscas para pisos laminados. Quanto ao uso ao longo de sua extensão, o bambu pode ser dividido em quatro partes: a inferior compreende os primeiros 4 metros do colmo e a menor distância entre os nós aumenta sua resistência à flexão; a média, entre quatro

e oito metros de altura do colmo, é usada frequentemente para fabricação de *esterillas* para paredes e formas e para a elaboração de colunas, sendo a parte mais comercializável do bambu estrutural; a superior, de oito a 12 metros, é muito utilizada na confecção de escoras e pontaletes; e a copa, acima de 12 metros, em geral é deixada como matéria orgânica para proteção do solo (Molina & Soto, 2002).

Após o período de cura e considerados os usos atribuídos aos diferentes bambus, os colmos foram subdivididos em partes de três e quatro metros de extensão, facilitando o transporte e o manejo. As partes inferiores de cada colmo foram cortadas em quatro metros, e as médias e superiores em três metros. Desde o momento após o corte, os colmos foram manipulados com cuidado para evitar sua deterioração, medida que também deve ser aplicada no momento do transporte do material. Segundo a Norma técnica NTC 5300, durante o transporte deve-se evitar qualquer tipo de impacto sobre o material e evitar acúmulos horizontais superiores a 2,40m para impedir esmagamentos.

Após a limpeza dos colmos curados, inicia-se o processo conhecido como imunização ou tratamento preservativo. Para a seleção do produto químico preservativo deve-se ter em conta o uso final do bambu, as características ambientais do local ao qual se destina e se sua colocação será em ambiente interno ou externo. O local para aplicação do tratamento também deve atender aos requisitos de segurança, de acordo com o preservativo escolhido. É importante atentar para a responsabilidade da escolha do produto para que seu uso não represente uma ameaça ao meio ambiente nem aos seres vivos.

O tratamento escolhido neste estudo foi o de imersão em solução de componentes químicos hidrossolúveis, no caso, o octoborato (ácido bórico e bórax). Tal componente possui boa eficácia e não é tão agressivo quanto outros compostos hidrossolúveis, como o CCA, além de ser um tratamento de execução compatível com a estrutura proposta no presente projeto. O produto é um sal alcalino suave que se apresenta como um pó branco fino, solúvel em água e que tem inúmeros usos em mercados agroindustriais (o boro é um dos sete micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas). Na madeira e no bambu, age como retardador de chama, além de impedir a deterioração da madeira por ataque microbiano e de insetos xilófagos. Segundo Montoya (2002), uma solução de octoborato a 5% seria eficiente para o tratamento de imunização do bambu.

É necessário atentar para as condições de limpeza e decomposição da solução a fim de garantir a efetividade do tratamento preservativo. As peças estruturais de *Dendrocalamus giganteus* foram colocadas inteiras em um tanque

de cura contendo a solução, sendo travadas transversalmente com tábuas e pesos para que permanecessem totalmente imersas. As peças de *Bambusa tuldoides* também foram colocadas em um tanque para tratamento. Para melhor ação da solução, a NTC 5301 sugere a perfuração interna dos diafragmas (nós) com um vergalhão de 1/2 a 5/8 de polegada de diâmetro ou a perfuração transversal através de brocas de 1/4 de polegada. Para a fabricação do protótipo, a primeira opção foi escolhida, pois, apesar de reduzir a capacidade estrutural do colmo, provoca menos rachaduras. O tanque foi coberto com lona para que a solução não evaporasse e nem se diluísse com a água da chuva. A duração do tratamento, em geral, é de uma a quatro semanas.

Após o término do tratamento, os colmos foram deixados para escorrer ao longo de meio dia para iniciar o processo de secagem. Tal processo, quando feito naturalmente, realiza-se de acordo com variantes das condições ambientais locais. A NTC 5301 aconselha que a secagem seja feita inicialmente sob coberta, com os colmos separados entre si, para alcançar gradativamente o conteúdo de umidade de equilíbrio. Seguindo esse protocolo, após aproximadamente dois dias cobertos por lona os bambus foram descobertos e passaram mais dois dias secando ao ar e protegidos de intempéries. Os armazenamentos horizontais devem ter uma altura máxima de 1,70m e, da mesma maneira que na secagem, devem estar separados por elementos transversais, sendo que quanto menor a altura do empilhamento, menor a possibilidade de esmagamento das peças.

Após a secagem dos colmos e antes da etapa de beneficiamento foi realizada a classificação das peças de acordo com o uso destinado. A escolha das peças para cada função da estrutura foi feita com base no diâmetro, na posição da peça no colmo (inferior/média/superior) e na espessura de parede do bambu.

Seguiu-se então a etapa de beneficiamento. O bambu usado para estrutura, *D. giganteus*, já tratado, após a secagem passou pelo processo de seleção e nomeação de peças. Com as peças escolhidas, foram marcadas aquelas correspondentes a oito pilares de 2,35 m e a quatro pilares de 2,50 m. Em seguida, as peças foram cortadas exatamente em tais medidas e eventuais brotos laterais foram cortados e lixados. A superfície das peças foi então selada com aplicação de cera natural à base de carnaúba e cera de abelha. Também foram feitos testes de selagem de superfície com seladora de madeira e resina de poliéster. Ambos os produtos apresentaram bom resultado, melhorando a aparência natural do bambu, fechando suas fibras e protegendo-o. No entanto, a escolha pela cera deu-se pela característica natural de seus componentes, além da possibilidade de fabricação própria do produto no contexto do projeto.

Já em relação a *Bambusa tuldoides*, o beneficiamento deve ser feito em eta-

pa anterior ao tratamento para que a vedação seja mais eficaz. Primeiramente, os colmos devem ser cortados em serra circular ou serra de fita. Foram feitos dois painéis experimentais de 0,90 m x 0,90 m e painéis definitivos de 0,70 m x 2,35 m. Após o corte em partes menores, o bambu foi cortado longitudinalmente com uma faca radial, formando taliscas, sendo necessário retirar o parênquima existente na parte interna do bambu, talisca a talisca, com o uso de um facão. As taliscas foram então tratadas com o mesmo processo usado para o bambu-gigante (tratamento de imersão com solução de octoborato), ficando três semanas na solução e passando depois para a secagem. Após esse beneficiamento, estavam prontas para a montagem dos painéis de vedação.

Concomitantemente ao beneficiamento dos bambus foi feita a preparação do terreno. Para a adequada implantação do protótipo, o terreno foi cavado para a execução da fundação rasa na forma de *radier*. Arranques de espera para os pilares de bambu foram fixados na malha metálica do *radier*, compostos por vergalhões e estribos triangulares. Para distanciar a estrutura de bambu do solo, resguardando-a de respingos e do contato com a umidade, o projeto previu a execução de um embasamento de alvenaria. Propôs-se então a utilização do bloco de terra comprimida (BTC ou tijolo ecológico), por utilizar o solo cru como matéria-prima, prática comum na região do Vale do Ribeira. Com as peças de bambu-gigante já pré-dimensionadas e nomeadas, houve necessidade de últimos beneficiamentos para a perfeita execução da estrutura.

Os cortes das extremidades para os encaixes ortogonais entre as peças foram realizados com uma serra de fita por sua disponibilidade no laboratório, mas tal procedimento também pode ser feito com facão e serrote. Também foram executados orifícios de aproximadamente 5 cm com serra copo no primeiro entrenó inferior das peças correspondentes aos pilares para posterior inserção de graute e a consequente solidarização dos pilares com a fundação.

O graute foi aplicado em todas as conexões entre bambus onde a barra roscada fez a junção das peças. Assim como a conexão de Simón Vélez, o intuito do procedimento é melhor distribuir os esforços solicitantes da conexão em toda superfície interna do bambu, prevenindo possíveis rachaduras provenientes dos orifícios das barras roscadas. Os orifícios na base do bambu foram fechados com a tampa extraída pela serra copo com uma mistura de serragem e cola branca. Outra medida importante para evitar rachaduras nas peças foi o uso de abraçadeiras metálicas fixadas nos pontos de maior solicitação com o intuito de trazer maior rigidez.

Os painéis diafragma de vedação, uma vez tendo seu material já benefi-

ciado, são de fácil e rápida montagem. Para o protótipo foram feitos painéis de 2,25 m x 0,75 m com auxílio de um gabarito de compensado, que garante maior controle sobre a regularidade da dimensão dos painéis e agilidade de montagem. A trama foi composta por três eixos verticais de meia cana de bambus tuldoides fixados em sanduíche de ripas de madeira de 5 cm x 2 cm, de forma que nenhum prego perfurasse diretamente as taliscas de bambu, prevenindo rachaduras.

Após totalmente tramado o painel recebeu, no verso, taliscas fixadas diagonalmente, para garantir o contraventamento da peça. As taliscas foram previamente perfuradas com uma broca de pequeno diâmetro e amarradas com arame recozido. Sobre a trama de taliscas foi fixada uma tela de viveiro hexagonal composta por arame galvanizado e fixado com arame recozido. Os painéis foram fixados na estrutura com braçadeiras metálicas para serem posteriormente argamassados.

Nos painéis menores podem-se ensaiar algumas soluções de argamassagem. Foram usados dois tipos de reboco, um elaborado a partir de uma mistura de solo-cimento na proporção entre areia e terra de 1:2, com o acréscimo de 10% de cimento, e outro elaborado somente com cimento e areia. Os painéis continuaram com a característica da leveza, no entanto a retração apresentada pelo solo-cimento leva a crer que a utilização de fibras naturais em sua massa, como o sisal, traria benefícios.

Resultados e discussão

A construção do protótipo gerou resultados práticos que não existiriam apenas com a pesquisa qualitativa e com a elaboração do projeto. Todos os resultados estão dispostos abaixo como considerações sobre cada etapa da pesquisa e fundamentam as conclusões sobre o processo construtivo.

Quanto à escolha dos colmos, a subjetividade do processo se refletiu em variações na maturidade dos colmos usados. Após secos, eram perceptíveis as diferenças em relação à coloração, o que, provavelmente, implica em diferenças na resistência. Há necessidade de aprofundamento das questões de reconhecimento e seleção dos colmos para garantir o uso consciente do material e para basear tal uso nas normas técnicas anteriormente citadas.

Quanto ao corte de *Dendrocalamus giganteus*, destaca-se que o procedimento exige certa experiência e habilidade no uso da motosserra. Os colmos são extremamente pesados e de difícil manejo, sobretudo no momento de posicioná-los sobre a superfície cimentada para o processo de cura na mata.

O transporte do material da mata até a oficina não apresentou grandes problemas, uma vez que os colmos foram subdivididos e que havia disponibilidade de veículo motorizado para a tarefa. O processo de tratamento foi de simples execução, no entanto a comprovação de sua eficácia será somente feita em uma avaliação pós-ocupação da construção, na presença ou não de patologias construtivas no material.

Já a secagem não foi, aparentemente, um processo totalmente bem-sucedido, uma vez que o longo período de estiagem que a cidade de São Paulo passou na ocasião da execução do protótipo sujeitou os bambus a um clima de baixíssima umidade e altas temperaturas, provavelmente um dos motivos de grande perda de *Dendrocalamus giganteus* por rachaduras. O ambiente do Vale do Ribeira apresenta maior umidade relativa do ar, possivelmente podendo proporcionar melhores resultados.

Quanto ao beneficiamento, nota-se que o beneficiamento da vedação é uma atividade que inicialmente demanda muito tempo para o corte dos colmos, a subdivisão em taliscas e a limpeza do parênquima. Mas, conforme observado no processo, mediante treinamento, o tempo para tais atividades tende a se reduzir consideravelmente. Já para o beneficiamento da estrutura, o processo de corte não demandou grande dispêndio de trabalho. Consistiu somente no corte de pré-dimensionamento, marcação e corte dos encaixes das peças. Quanto ao tratamento impermeabilizante, a aplicação da cera foi certamente mais trabalhosa do que se a seladora e o verniz fossem escolhidos, uma vez que estes poderiam ser aplicados com pistola para pintura, otimizando o tempo do procedimento.

Sobre as fundações e o embasamento, não é mandatória a utilização da solução construtiva empregada. A fundação rasa em *radier* foi escolhida por se adequar ao solo nos terrenos alagadiços do Vale, mas certamente outras fundações rasas poderiam ser empregadas dependendo do terreno, como a viga baldrame, por exemplo. O embasamento proposto em BTC poderia ser substituído por outros blocos de terra crua, como o adobe ou tijolos de terra cozida, dependendo dos recursos existentes. O BTC apresentou grande facilidade e agilidade de assentamento, uma vez que suas dimensões são generosas e sua superfície, porosa. Há necessidade de cuidado no manejo das peças pois, apesar de grande resistência estrutural, o BTC possui baixa resistência à abrasão. Já a argamassa em solo-cimento utilizada para assentamento trouxe algumas dificuldades de coesão com os blocos pelo baixo teor de cimento utilizado.

Quanto à estrutura, apesar da irregularidade natural dos colmos de bambu, o pré-dimensionamento de peças foi muito bem-sucedido e a montagem



da estrutura quase não necessitou ajustes de nivelamento e encaixe. As conexões feitas com barra roscada e graute foram de fácil execução e, até o momento da última avaliação, demonstraram grande estabilidade.

A vedação em taliscas de bambu demonstrou excelente resultado em termos de resistência e flexibilidade. A superfície resultante da trama apresentou boa estabilidade, funcionando como um bom plano para a fixação de tela metálica para argamassagem. É necessário, contudo, um estudo mais aprofundado das formas de arremate dos painéis de vedação para otimizar a argamassagem de suas extremidades.

Por sua vez, a argamassagem é a parte do processo que mais necessita desenvolvimento. Seriam necessários ensaios específicos sobre a variedade de misturas passíveis de desenvolvimento e sobre o desempenho de cada uma delas a partir de seu uso. Podem ser avaliadas experiências com rebocos de cimento simples, de solo-cimento, de calfitice, bem como o emprego de outros aditivos na mistura da massa. Fato é que o reboco de solo-cimento testado no protótipo apresentou mais fissuras do que o imaginado, mesmo após a aplicação de uma segunda camada, sendo necessários mais experimentos da proporção cimento/solo/areia. Esse, no entanto, não foi o ponto principal do presente estudo.

Conclusões

1. Apesar das questões técnicas levantadas com o experimento, a viabilidade construtiva da técnica desenvolvida no projeto foi comprovada. O estudo realizado pode ilustrar algumas questões decisórias do processo produtivo e suas implicações imediatas.
2. Houve preocupação na elaboração de uma prática construtiva que não se distanciasse muito das práticas empregadas no Vale do Ribeira. Tal decisão manifestou-se sobretudo no desencadeamento dos elementos que estruturam o edifício – vigas, pilares, embasamento, cobertura –, de forma que o material fosse apresentado à população com uma simples leitura, e para que só posteriormente pudesse ser reelaborado de modo a sugerir configurações mais sofisticadas.
3. Dentre as questões produtivas que puderam ser avaliadas na execução do protótipo destaca-se a questão da mão de obra. O projeto foi desenvolvido de tal forma que não necessitasse de grandes equipamentos para sua execução, no entanto é de extrema valia que os procedimentos sejam realizados com

um número mínimo de trabalhadores. Grande parte das etapas construtivas necessitava de, no mínimo, duas pessoas e, mesmo sendo muitas delas passíveis de desenvolvimento com menos pessoas, o tempo de execução caía consideravelmente quando executadas em grupo. Assim, equipes de trabalho, por menores que sejam, tendem a otimizar de maneira sensível a produtividade das construções.

4. A questão da qualidade da mão de obra também pode ser avaliada. No presente experimento, o trabalho foi executado por pessoas com pouca prática no manejo do bambu enquanto material de construção. A assimilação do processo de manejo se deu em função de pesquisas previamente realizadas e da experimentação entre os envolvidos. A introdução de tais práticas construtivas necessita que haja formação mínima da mão de obra, uma vez que seus procedimentos não são evidentes.

5. Quanto às técnicas construtivas empregadas em cada parte do protótipo, é evidente que se trata de etapas que são, por si só, grandes áreas de pesquisa, necessitando investigação mais ampla para que novos conhecimentos acerca de construção em bambu sejam produzidos de modo a garantir a consolidação do uso desse material mediante a comprovação de suas potencialidades.

Agradecimentos

Aos professores Reginaldo Ronconi (FAU/USP), Antonio Beraldo (Unicamp) e Marco Pereira (Unesp), pelas contribuições ao trabalho;

Aos colegas do Laboratório de Culturas Construtivas (LCC – FAU/USP);

Ao Canteiro Experimental, ao Laboratório de Modelos e Ensaios da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP e ao Viveiro de Mudas da USP, pelo auxílio na confecção do protótipo;

Ao Centro de Investigación de Madera y *Guadua* (Cibam), do Instituto de Investigaciones Tecnológicas da Universidad Nacional de Colombia (Unal), especialmente ao Professor Jorge Lozano e ao engenheiro César Ardilla, pelo estágio em pesquisa em normatização;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo financiamento da presente pesquisa;

Ao Programa Santander de Mobilidade Internacional, que possibilitou a pesquisa junto à Universidad Nacional de Colombia.



Referências

- HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo the gift of the gods**. Bogotá: D'vinni Ltda., 2003.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERFIFICACIÓN – ICONTEC. Bogotá. **NTC 5407** – Uniones de estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth, 2006.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERFIFICACIÓN – ICONTEC. Bogotá. **NTC 5301** – Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth, 2007.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERFIFICACIÓN – ICONTEC. Bogotá. **NTC 5300** – Cosecha y Poscosecha de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth, 2008.
- JANSSEN, J. **Building with bamboo. A handbook**. Warwickshire: ITDG Publishing, 1995.
- JANSSEN, J. Designing and building with bamboo. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). **Technical report**, n.20. Beijing, 2000.
- MOLINA, A.L.; SOTO, P.A. **Empleo simultaneo de guadua con madera en la construcción de vivienda**. Especialización en Tecnología – Facultad de Artes, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2002.
- MONTOYA, J.A. Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la *Guadua Angustifoliac* Kunth. Tesis de Maestria en Medio Ambiente y Desarrollo – Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 2002.
- NOIA, P.R.C. Sustentabilidade socioambiental: desenvolvimento de sistemas construtivos em bambu no Vale do Ribeira, SP. Dissertação de mestrado – Curso de pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- PEREIRA, M.A.; BERBALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal 6, 2008.
- PEREIRA, M.A.; CARRARA, H.B.; BESSA, R.L.; LEITE, M.M. Utilização de painéis em bambu para fechamento de moradias. Artigo apresentado no CIMAD 11 – 1o Congresso Ibero-Latino-americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra, 2011.
- SÁNCHEZ, A.L.; TOLE, M.A. Sistema pre-fabricado en *Guadua* para vivienda de interés social. Trabajo de grado – Facultad de Artes, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2008.
- SEBÁ, J.M. Sistema normalizado en *guadua* y madera: tecnologías apropiadas para la región centro occidental colombiana. Bogotá: Premio Corona a la arquitectura, 1986.





Retenção de água em carvão de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas

Wenceslau Geraldês Teixeira⁽¹⁾, Jean Dalmo de Oliveira Marques⁽²⁾, Christoph Steiner⁽³⁾ e Robert Flanagan⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024 – 22460000 – Rio de Janeiro – RJ.

E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br

⁽²⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Avenida Sete de Setembro, 1975 -9020120, Manaus - AM. E-mail: jdomarques@hotmail.com

⁽³⁾ Universidade de Kassel, Steinstr., 19 – 37213 – Witzenhausen, Alemanha.

E-mail: christoph.steiner@biochar.org

⁽⁴⁾ China Bamboo Research Center, 310 Wenyi Road, 310012 Hangzhou, China. E-mail: rhtflanagan@gmail.com

Resumo – Ainda pouco discutida no Brasil, a biomassa do bambu é uma alternativa de energia com diversos usos. A utilização desse material, obtido por plantio ou manejo de bambuzais nativos, na produção de carvão para uso agrícola pode melhorar as propriedades do solo. Neste texto, serão apresentados e debatidos dados sobre a retenção de água em amostras do produto denominado biocarvão de bambu (*biochar*) e seu potencial uso como condicionador de solo. O objetivo foi verificar o resultado da carbonização de bambu a diferentes temperaturas e seus efeitos na retenção de água a diferentes potenciais. Para comparação, as análises foram realizadas também com amostras de carvão de madeira, produzido nos fornos tradicionais de carbonização utilizados no Brasil. Após uma série de testes, verificou-se que a elevação da temperatura de carbonização aumenta o conteúdo de água retida com alta energia (>1500 kPa). Os biocarvões produzidos nas temperaturas 500 °C e 550 °C e o biocarvão de madeira apresentaram os maiores valores de água facilmente disponível. Por esse parâmetro, os biocarvões são indicados para ser adicionados a substratos de mudas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: ÁGUA DISPONÍVEL, VAN GENUCHTEN, POROSIDADE, SUBSTRATO.



Water retention in bamboo and wood biochar produced at different temperatures

Abstract – Still little discussed in Brazil, bamboo biomass is an energy alternative for several uses. The use of bamboo feedstock, obtained from plantation or management of native bamboo groves, to produce char or biochar for agricultural use can improve soil properties. This chapter shows and discusses data on water holding capacity of bamboo biochar produced at different temperatures and the potential use of this material as soil conditioner. The aim of the study was to verify the result of bamboo carbonization at different temperatures and its effects on water retention to different potentials. For means of comparison, the analyses were also conducted with samples of wood biochar, produced using traditional carbonization ovens. The results showed that the increase of the temperature of carbonization increases the amount of water hold with high potential (> 1500 kPa). The bamboo biochar produced at temperatures of 500 °C and 550 °C and the wood biochar show the highest values of easily available water. Therefore, biochars are indicated to be added to seedlings substrates.

INDEX TERMS: WATER HOLDING CAPACITY, VAN GENUCHTEN, POROSITY, GROWING MEDIA.

Introdução

As formações vegetais com a predominância de espécies conhecidas como bambu são abundantes em todo o planeta (Zhou et al., 2005), inclusive no Brasil. Na região sudoeste da Amazônia, no extremo oeste do estado do Acre (na região da Serra do Divisor e nas cabeceiras dos rios Purus e Juruá), existe uma vegetação endêmica denominada de floresta ombrófila aberta com bambus (figura 1), tendo predomínio do gênero *Guadua* spp. Essas áreas são denominadas de tabocais no Brasil e *pacales* no Peru (Silveira e Salimon, 2013) e apresentam um comportamento sincronizado, num ciclo de vida de 27-28 anos (Carvalho et al., 2013), quando florescem, frutificam e morrem. Esse fenômeno ocorre ao mesmo tempo em grandes extensões de terra, tornando as áreas de tabocais, que normalmente já são de difícil acesso, intransitáveis nestes períodos (Carvalho et al., 2013).

A época de pré-florescimento pode ser identificada por imagens de satélite (Nelson e Bianchini, 2005). A mortalidade natural dos tabocais indica um potencial uso de parte desta biomassa para a carbonização e produção de carvão de bambu, que poderá ter diversas utilidades, entre elas, seu uso como condicionador de solos, cujas propriedades de alteração da capacidade de reter água serão discutidas neste artigo.

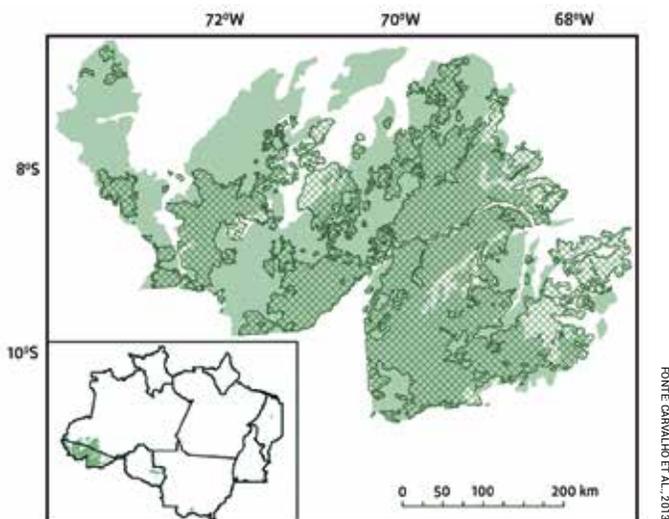


Figura 1. Áreas reticuladas referem-se a florestas abertas com bambu

O bambu também é uma alternativa para a produção de biomassa pela alta produtividade e rápido crescimento e maturidade. Seu uso comercial aumentou rapidamente nos últimos anos e está se popularizando como um excelente substituto para a madeira na produção de celulose, papel e carvão e também na construção civil.

Uma quantidade significativa de bambu, que não é adequada para a fabricação de produtos, está disponível como resíduos que podem ser utilizados para produção de bioenergia ou biocarvão. Esse material é produzido por meio do processo de pirólise, que envolve o aquecimento do material orgânico sob limitada concentração de oxigênio. Um dos produtos resultantes, concentrado em diversas formas de carbono, é o carvão vegetal que, quando destinado ao uso agrícola, recebe o nome de biocarvão – ou *biochar*, na língua inglesa (Benites et al., 2010).

O uso do biocarvão pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando a retenção de água e da troca catiônica, a ele-

vação do pH e a melhoria do hábitat para micro-organismos benéficos (Glaser et al., 2002; Lehmann & Joseph, 2009; Sohi et al., 2010). Outros estudos também mostram o potencial da utilização do biocarvão na remediação de solos contaminados com metais pesados e hidrocarbonetos (Hu et al., 2014), atuando como adsorvente de baixo custo, com propriedades físico-químicas adequadas para o processo de adsorção (Beesley et al., 2011) e como elemento filtrante para água potável. No entanto, várias das propriedades do biocarvão dependem da fonte de biomassa utilizada e da técnica de pirólise empregada (Keiluweit et al., 2010; Perez et al., 2010); por isso, a extrapolação de resultados em determinada condição deve ser feita com cautela.

A adição de biocarvão ao solo pode resultar em menor perda de nutrientes por lixiviação. Pela maior retenção dos cátions nos micros e mesoporos da superfície do carvão, essas cargas são criadas pela oxidação das bordas das estruturas aromáticas, produzindo grupos carboxílicos e um consequente aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) (Glaser et al., 2002; Liang et al., 2006).

Dada sua característica de alta estabilidade e reatividade, o carvão vegetal apresenta um grande potencial de uso como condicionador de solos tropicais. Resultados positivos referentes ao uso do biocarvão de madeira como componente do substrato na produção de mudas de caju (*Arrabidaea chica* H&B), de guaranazeiro (*Paullinia cupana* Duke) e da castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) foram descritos por Souza et al. (2006); Arruda et al. (2007) e Nunes e Teixeira (2010).

Experimentos com a aplicação de biocarvão no campo no Brasil ainda são raros, mas os existentes mostraram respostas promissoras no aumento da fertilidade e produtividade dos cultivos (Steiner et al., 2007; Arruda et al., 2010; Petter et al., 2012; Carvalho et al., 2014). Os colmos de bambu apresentam alta porosidade e elevados teores de carbono (Hernandez-Mena et al., 2014), condições estruturais físicas e químicas favoráveis para carbonização (Schneider et al., 2011). Consequentemente, apresentam um grande potencial de utilização de uso como condicionador de solos degradados ou altamente erodidos, desempenhando um importante papel na melhoria da qualidade do solo e se fortalecendo como alternativa ao sistema de corte e queima (Steiner et al., 2010) nas áreas de sua ocorrência natural.

O objetivo deste estudo foi verificar o efeito da carbonização de bambu a diferentes temperaturas e seus efeitos na retenção de água a diferentes potenciais. Para comparação, as análises foram feitas também com amostras de carvão de madeira produzido nos fornos tradicionais de carbonização utilizados no Brasil.

Material e métodos

Na produção do biocarvão foram utilizados colmos do bambu *Phyllostachys pubescens*, conhecido como “Moso bamboo”. Os colmos foram colhidos três anos após o plantio, quando tinham biomassa de 40 ton/ha.

A carbonização dos colmos foi feita no Centro de Pesquisa de Bambu, em Hanzou, China. O biocarvão de bambu, nas diferentes temperaturas, foi produzido em reatores rotativos, que contavam com uma fonte externa de calor e cujo movimento provocou a quebra do carvão em grânulos menores que 2 mm.

Os carvões produzidos a temperaturas maiores (500 °C – 600 °C), que permaneceram mais tempo no forno, apresentaram uma granulometria ainda mais fina. A câmara interna do reator foi vedada para garantir a uniformidade do aquecimento da biomassa. Foram carbonizadas amostras de colmos de bambu às temperaturas de 400 °C; 450 °C; 500 °C; 550 °C e 600 °C.

Para comparação, foram obtidas amostras do carvão de madeira de uma carvoaria da região de Manaus (AM), que utilizava troncos de árvores da floresta primária retiradas de uma área de desmatamento autorizado. A carbonização da madeira foi feita em tradicionais fornos conhecidos como “*rabo quente*”, e a temperatura da carbonização foi de aproximadamente 450 °C. Detalhes desse sistema de carbonização utilizado na Amazônia Central estão descritos em Swami et al. (2009).

As análises de retenção de água foram realizadas no Laboratório de Física e Química do Solo da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus. As amostras dos biocarvões foram acondicionadas em cilindros volumétricos de 100 cm³ em quintuplicata. As amostras foram saturadas, e posteriormente, a retenção de água foi determinada sucessivamente nos potenciais de 0; 0,5; 1,0; 1,5; 1,8; 2,0 e 2,5 pF (pF = log 10 cm H₂O), sendo empregado o método da mesa de tensão.

Em seguida, as amostras foram removidas dos cilindros para determinar a massa seca e calcular a densidade aparente do solo. Os dados de retenção de água em função dos potenciais foram ajustados para a equação de van Genuchten (1980). Nessa equação, os parâmetros q_s e q_r são, respectivamente, o conteúdo volumétrico de água na saturação e residual (m³ m⁻³); ψ é o potencial da água no solo (pF log cm de água – em módulo); α , n e m são parâmetros de ajuste com o programa Shyfit (Durner, 1994).

Os parâmetros químicos analisados foram pH (H₂O) e pH em KCl (relação 1:2,5 v/v); teores trocáveis de P, K⁺ e Na⁺ (extrator Mehlich 1); Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³ (extrator KCl 1,0 mol L⁻¹); carbono orgânico (Método de Walkley-Black)

e Fe, Mn, Cu, Zn (extrator Mehlich 1). As análises químicas foram feitas segundo os métodos descritos no Manual de Análises da Embrapa (Donagema et al., 2012).

Resultados e discussão

As análises da porosidade total dos biocarvões de bambu avaliados foram de cerca de 70%. Este é o volume de água que esses carvões podem armazenar quando saturados. O biocarvão de madeira apresentou valor de 64% (tabela 1); entretanto, seus poros drenaram facilmente com o aumento do potencial da água (figura 2). Isso foi verificado pela grande inclinação das curvas ajustadas da retenção de água dos biocarvões 400 °C, 450 °C, 500 °C e 550 °C nos potenciais matriciais 0,5 – 1,0 pF, indicando que a maior parte dos poros tinha diâmetro equivalente na faixa dos macroporos.

O biocarvão de bambu 600 °C apresentou a maior distribuição de tamanho de poros entre as amostras estudadas, e isso resultou numa maior retenção de água a potenciais intermediários ($pF > 2$), com valores de água disponível (AD) semelhantes ao carvão de madeira; esse biocarvão, no entanto, apresentou um elevado conteúdo de água retida a elevados potenciais.

Os biocarvões de bambu 400 °C e 450 °C registraram os menores valores de AD e água facilmente disponível (AFD). Os biocarvões 500 °C e 550 °C e biocarvão de madeira apresentaram os maiores valores de AFD e por esse parâmetro seriam os biocarvões indicados para ser adicionados a substratos de mudas, situação na qual a AFD é um parâmetro-chave para o suprimento de água das mudas.

A elevada retenção de água nos biocarvões de 550 °C e 600 °C provavelmente está relacionada a um aumento da superfície específica do biocarvão com a elevação de temperatura da pirólise: a água retida na superfície do carvão mostrou grande potencial (>1500 kPa), o que a torna indisponível à maioria das espécies de plantas.

Estudos realizados por Souza et al. (2006) e Nunes e Teixeira (2010) mostram o potencial da utilização do carvão de madeira como componente de substrato, com resultados similares e até superiores aos condicionantes comerciais. Apesar de a utilização de biocarvão para aumento da retenção de água em aplicações no campo ter resultados contraditórios, a discussão abaixo apresenta indicativos do grande potencial do biocarvão de bambu para ser utilizado com essa finalidade.

Tabela 1 - Parâmetros estimados para as equações de retenção de água (Equação de van Genuchten) em carvões de bambu carbonizados a diferentes temperaturas

Parâmetros da equação	Carvão de Bambu					Carvão Madeira
	Temperatura de carbonização - °C					
	400	450	500	550	600	~ 450
θ_s ($m^3 m^{-3}$)	0,77	0,77	0,71	0,71	0,70	0,64
θ_r ($m^3 m^{-3}$)	0,29	0,27	0,36	0,40	0,50	0,34
θ (cm-1)	0,035	0,049	0,032	0,027	0,167	0,026
n	3,87	2,6	2,01	2,09	1,59	2,617
AD	0,0127	0,0266	0,0824	0,0999	0,0576	0,0613
AFD	0,0137	0,0260	0,0747	0,0917	0,0378	0,0597
D ($g cm^{-3}$)	0,23	0,25	0,31	0,34	0,38	0,42

AD1 estimada por [$\theta_p F2 - \theta_p F4,2$]; AFD2 estimada por [$\theta_p F2 - \theta_p F3$]

D = Densidade estimada pela massa de biocarvão pelo volume do cilindro

Carvalho et al. (2014) encontraram aumento da água disponível com a aplicação de *biochar* de madeira, mas isso não se traduziu em aumento da produtividade do arrozal, provavelmente por ter ocorrido em um período de reduzidas precipitações. Asai et al. (2009), Novak et al. (2012) e Sun e Lu (2014) também encontraram aumento da retenção de água com a aplicação de *biochar*. Em outros estudos de campo não foram encontrados resultados com a aplicação de biocarvão por Major et al. (2012) na Colômbia e por Jeffery et al. (2015), na Holanda. Entretanto, a magnitude do efeito é dependente do biocarvão, da dose aplicada e da granulometria e mineralogia do solo.

Os solos com predomínio de partículas da fração areia, das classes texturais arenosa, areia franca e franco-arenosa, potencialmente deverão ser mais responsivos ao aumento da retenção de água pela adição de biocarvão. A hidrofobicidade do biocarvão (Jeffery et al., 2015; Gray et al. 2014), apontada como uma provável explicação para a falta de resultados no aumento da retenção de água em sua aplicação, parece não ser um problema no biocarvão de bambu, que apresenta um potencial hidrofóbico de 60% a 80% semelhante à madeira (Zhang et al., 2014). A hidrofobicidade parece ser reduzida com o tempo pela possível degradação dos compostos hidrofóbicos e redução do tamanho das frações do biocarvão com a pedoturbação.

Os solos estruturados típicos das regiões tropicais, principalmente os Latossolos e Argissolos, apresentam em sua maioria uma distribuição bimodal de poros (Teixeira, 2001; Carducci et al., 2011). Isso lhes confere um caráter

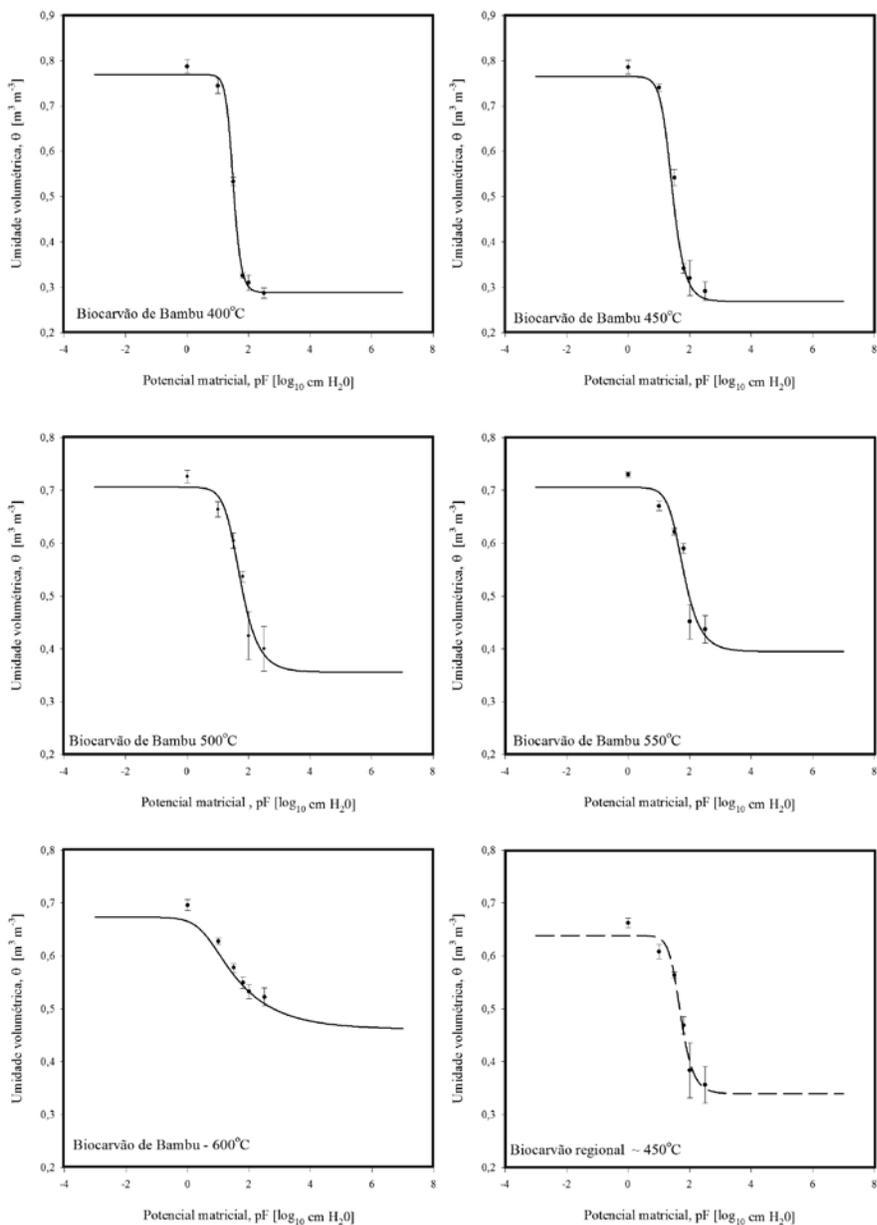


Figura 2. Curva de retenção de água de amostras de biocarvão de bambu produzidas a diferentes temperaturas e biocarvão de madeira. As barras são desvio padrão, amostras avaliadas em quintuplicata

híbrido, em especial quando a distribuição das partículas minerais se encontra nas classes texturais muito argilosa, argilosa e franco argilosa, que têm elevada capacidade de infiltração e transmissão de água pelos macroporos, com valores típicos de solos de textura mais grossa, e também uma elevada retenção de água a elevados potenciais (>1500 kPa), retida nos microporos e de baixa disponibilidade à maioria dos cultivos.

A adição de condicionantes físicos nessas classes de solos como o biocarvão de bambu poderá condicionar a formação de mesoporos, por efeitos diretos e indiretos (estruturação) que armazenem água disponível (mesoporos) para as raízes. A factibilidade dessas aplicações dependerá da resposta dos cultivos à redução dos estresses hídricos, da disponibilidade de biocarvão e dos custos de sua produção e aplicação.

O biocarvão tem também o potencial de elevar a capacidade de reter íons no solo pela presença de cargas (Glaser et al., 2002). A relação entre a massa da água pela massa do biocarvão (tabela 2) mostra menores valores, para baixos potenciais, nos biocarvões carbonizados a elevadas temperaturas (>500 °C) e no carvão de madeira. Para potenciais maiores, essa relação se inverte com as menores relações sendo encontradas nos biocarvões de bambu carbonizados a baixas temperaturas (<450 °C). Isso é consequência das menores densidades (tabela 1) dos biocarvões produzidos com menores temperaturas, que são mais porosos e têm um maior espaço para armazenar água.

Tabela 2 – Relação entre massa da água e massa do biocarvão de bambu e madeira (g g⁻¹) em equilíbrio a diferentes potenciais

Potencial da água	Carvão de Bambu					Carvão madeira
	Temperatura da carbonização - °C					
___pF__	400	450	500	550	600	~ 450
0	3,42	3,40	3,15	3,16	3,02	2,88
1	3,24	3,21	2,88	2,88	2,72	2,64
1,5	2,32	2,35	2,62	2,67	2,50	2,44
1,8	1,42	1,48	2,33	2,53	2,38	2,03
2	1,35	1,39	1,84	1,73	2,31	1,60
2,5	1,25	1,26	1,73	1,84	2,26	1,51

pF = log₁₀ cm H₂O

A maior persistência do biocarvão, em comparação com o material não carbonizado, mesmo sob condições tropicais de alta umidade e temperatura, deve-se à estabilidade química causada por sua estrutura aromática, aliada a

uma grande quantidade de microporos, o que o torna de difícil acesso para os microrganismos do solo, sendo por isso decomposto mais lentamente que outros materiais orgânicos (Zimmerman et al., 2013; Knicker, 2011).

A caracterização química das amostras de biocarvão foi realizada com a metodologia desenvolvida para amostras de solo com fins de classificação de fertilidade. Essa metodologia não é mais adequada para caracterização de material orgânico, mas tem sido utilizada em muitos trabalhos com *biochar* e foi adicionada para comparar valores.

Os elevados valores de pH dos biocarvões estudados (tabela 3) combinam com resultados de outras amostras de carvão de madeira (Souza et al., 2006; Nunes e Teixeira, 2010) e se devem, principalmente, à presença de cinzas (que apresentam $\text{pH} > 9,0$). Esses valores ocorrem quando o *biochar* é utilizado em solos com pH baixo ou elevada saturação de alumínio (Al), pois pode contribuir para o aumento do pH e redução da toxidez do metal.

O uso de *biochar* com essa característica em solos alcalinos deve ser feito de forma parcimoniosa se o objetivo for utilizar o biocarvão como fonte de nutrientes. Os teores de possíveis nutrientes – fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) – são reduzidos na biomassa utilizada na carbonização, constituída principalmente de substâncias orgânicas (lignina, celulose, hemicelulose etc) de colmos de bambu e tronco de árvores.

Tabela 3. Características químicas de biocarvões de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas

Amostras	pH		C	Al	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
Biocarvão Bambu	H ₂ O	KCl	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			mmol dm ⁻³		mg dm ⁻³				
400	8,0	7,4	38,2	0	285	6640	145	48	19	5	32	132	0,15
450	7,9	7,6	27,7	0	260	7200	170	52	25	22	35	130	0,25
500	7,3	6,4	56,85	0	301	8640	155	53	29	67	25	161	0,25
550	7,7	6,7	59,7	0	331	8975	150	43	26	47	24	173	0,25
600	10	9	32,55	0	454	12125	140	10	10	6	23	220	0,2
CM	8,1	8,2	18,69	0	8	346	33	1	0,05	1	6	2	1,0

Os valores são médias de três amostras. CM = carvão de madeira carbonização a ~ 450°C

Contudo, observou-se uma grande diferença nos teores dos elementos analisados – fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) o cobre (Cu) –, com as amostras de biocarvão de bambu, apresentando teores maiores que o biocarvão de madeira (tabela 3). Entre as amostras de biocarvão de bambu, verificou-se um aumento dos teores de P e K com a elevação da temperatura de carbonização, provavelmente consequência de uma maior redução a cinzas de parte da biomassa.

A redução dos teores de carbono orgânico, com o aumento da temperatura de carbonização (tabela 3), está relacionada ao método utilizado para análise de carbono (pelo método de Walkley-Black), que não determina carbono elementar como parte do carbono em estruturas aromáticas (Donagem et al., 2012). Os teores totais de C normalmente aumentam com a elevação da temperatura de carbonização (Maia et al., 2013).

Conclusões

1. O biocarvão de bambu apresenta diferentes capacidades de retenção de água disponível em função da temperatura de carbonização.
2. A temperatura de carbonização aumenta a capacidade do biocarvão de bambu de reter água, entretanto, no biocarvão produzido a elevadas temperaturas (600 °C), esta água apresenta elevado potencial (>1500 kPa) e tem uma disponibilidade limitada para a maioria das plantas.
3. Os biocarvões produzidos nas temperaturas de 500 °C e 550 °C e o biocarvão de madeira apresentaram os maiores valores de água facilmente disponível; por esse parâmetro, seriam os biocarvões indicados para ser adicionados a substratos de mudas.
4. O biocarvão de madeira tem retenção e porosidade semelhante ao biocarvão de colmos de bambu produzido com temperaturas de 500 °C.
5. O biocarvão de bambu tem potencial para ser utilizado como condicionador de solos para aumento da retenção de água, principalmente como componente de substratos para mudas.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Física de Solos da Embrapa Amazônia Ocidental (Manaus- AM) e aos técnicos Estevão Santos e Manuel Taveira, pela realização das análises de retenção de água;

Ao Dr. Robert Flanagan, pelo envio das amostras de carvão de bambu e pelas valiosas sugestões e contribuições na discussão;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão de bolsas ao primeiro autor;

A um revisor anônimo, que possibilitou o aumento da clareza do trabalho.

Referências

- ARRUDA, M. R.; PEREIRA, J. C. R.; MOREIRA, A. Enraizamento de estacas herbáceas de guaranazeiro em diferentes substratos. **Ciência Agrotecnica**, v.31, n.1, p.236-241, 2007.
- ARRUDA, M. R. D.; TEIXEIRA, W. G. Utilização de resíduos de carvão vegetal associado a fontes orgânicas de nutrientes no manejo sustentável do solo e do guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: EDUA/Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 307-314.
- ASAI, H.; SAMSON, B. K.; STEPHAN, H. M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y. *Biochar* amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field Crops Research**, 111(1-2), p.81-84, 2009.
- BEESELEY, L.; MARMIROLI, M. The immobilization and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by *biochar*. **Environmental Pollution**, v.159, p.474-480, 2011.
- BENITES, V. D. M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE M. E.; PIMENTA, A. S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as terras pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C., MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 286-296.
- CARDUGGI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. S. D.; SEVERIANO, E. D. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.77-86, 2011.
- CARVALHO, A. L. D.; NELSON, B. W.; BIANCHINI, M. C.; PLAGNOL, D.; KUPLICH, T. M.; DALY D.C. Bamboo-dominated forests of the southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. **PLoS ONE**, 8(1): e54852, 2013.
- CARVALHO, M. T. M.; MAIA, A. H. N.; MADARI, B. E.; BASTIAANS, L.; VAN OORT, P. A. J.; HEINEMANN, A. B.; da SILVA, M. A. S.; PETTER, F. A.; MEINKE, H. *Biochar* increases plant available water in a sandy soil under an aerobic rice cropping system. **Solid Earth**, 2014, 5, p.939-952.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO S. B.; TEIXEIRA W. G.; VIANA J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 232 p.
- DURNER, W. SHYFFIT User's Manual. **Research Report** 94.1, University of Bayreuth, Dept. of Hydrology, 1994. 25p.
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and fertility of soils**, v. 35, p.219-230, 2002.

- GRAY, M.; JOHNSON, M. G.; DRAGILA, M. I.; KLEBER M. Water uptake in *biochars*: The roles of porosity and hydrophobicity. **Biomass and Bioenergy**, v. 61(0), p.196-205, 2014.
- HERNANDEZ-MENA, L. E.; PÉCORÁ, A. A. B.; BERALDO, A. L. Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of *biochar* properties. **Chemical Engineering transactions**, v.37, p.115-120, 2014.
- HU, C.; ZOU, X.; LIU, J.; ZHANG, S.; FEN, Y.; HUANG, X. A novel application of modified bamboo charcoal to treat oil-containing wastewater and its modified mechanism. **Water Science & Technology**, v.70(12), p.1992-1997, 2014.
- JEFFERY, S.; MEINDERS, M. B. J.; STOOFF, C. R.; BEZEMER, T. M.; van DE VOORDE, T. F. J.; MOMMER, L. *Biochar* application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. **Geoderma**, v.251-52(0), p.47-54, 2015.
- KEILUWEIT, M.; NICO, P. S.; JOHNSON, M. G.; KLEBER, M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (*biochar*). **Environmental Science & Technology**, v.44, p.1247-1253, 2010.
- KNICKER, H. Pyrogenic organic matter in soil: its origin and occurrence, its chemistry and survival in soil environments. **Quaternary International**, v.243, p.251-263, 2011.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Londres: Earthscan Ltd., 2009. 404p.
- LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.70, p.17-19. 2006.
- MAIA, C. M. B. F.; BARATTO, R. L.; GUIOTOKU, M.; SIQUEIRA, F. C. J.; MADARI, B. E.; LEAL, W. G. O. Efeito da temperatura de carbonização sobre características físico-químicas dos carvões de duas espécies de bambu. In: X Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, 2013, Santo Antônio de Goiás. **Anais X Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas – Matéria Orgânica e Qualidade Ambiental**, 2013, v. único. p.324-327.
- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Nutrient leaching in a Colombian savanna oxisol amended with *biochar*. **Journal of Environmental Quality**, v.41(4), p.1076-1086, 2012.
- NELSON, B. W.; BIANCHINI, M. C. Complete life cycle of southwest Amazon bamboos (*Gua-*dua* spp*) detected with orbital optical sensors. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12. (SBSR). São José dos Campos: INPE, 2005. p.1629-1636.
- NOVAK, J. M.; BUSSCHER, WARREN J.; WATTS, D. W.; AMONETTE, J. E.; IPPOLITO, J. A.; LIMA, I. M.; GASKIN, J.; DAS, K. C.; STEINER, C.; AHMEDNA, M.; REHRAH, D.; SCHOMBERG, H. *Biochars* impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. **Soil Science**, v.177(5), p.310-320, 2012.
- NUNES, M. M.; TEIXEIRA, W. G. Crescimento de mudas de castanheiras do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) em função de doses de carvão vegetal como componente de substrato. In: III Reunião Científica da Rede CTPetro Amazônia, 2010, Manaus. **Anais da III Reunião Científica da Rede CTPetro Amazônia**. Manaus: INPA, 2010, p.1-5. CD ROM.
- PBerez, G.; DAS, K. C.; ADAMS T. T. Conversão termoquímica de biomassa em refinarias. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C., MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, I. W. (Ed.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 1ª ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p.328 -335.



- PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JR., B. H.; PACHEGO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after *biochar* application in the Cerrado, **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.47, p.699-706, 2012.
- SCHNEIDER, D.; ESCALA, M.; SUPAWITTAYAYOTHIN, K.; TIPPAYAWONG, N. Characterization of *biochar* from hydrothermal carbonization of bamboo. **International journal of energy and environment**, v.2, p.647-652, 2011.
- SILVEIRA, M.; SALIMON, C. I. Aspectos gerais da cobertura vegetal do Estado do Acre. In: **Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**. ANJOS, L. H. dos; SILVA, L. M. da; WADT, P. G. S.; LUMBREERAS, J. F.; PEREIRA, M. G. Embrapa, 2013. p.81-96.
- SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. A review of *biochar* and its use and function in soil. **Advances in Agronomy**, v.105, p.47-82, 2010.
- SOUZA, G K da; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. R.; CHAVES, F. C.; XAVIER, J. J. B. Growth of cajuru (*Arrabidaea chica* Verlot.) on different growing media. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.8, p.62-65, 2006.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; NEHLS, T.; DE MACÊDO, J.L.V.; BLUM, W.; ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant and Soil**, v.291, n.1, p.275-290, 2007.
- STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G. SWAMI, S. N.; MAJOR, J.; LEHMANN, J.; ZECH, W.; BLUM, W. E. H. Corte e carbonização como uma alternativa ao corte e queima: estudos na Amazônia. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (eds). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas – Embrapa Amazônia Ocidental, 2010, p.297-305.
- SUN, F.; LU, S. *Biochars* improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v.177(1), p.26-33, 2014.
- SWAMI, S. N.; STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J. Charcoal making in the Brazilian Amazon: economic aspects of production and carbon conversion efficiencies of kilns. In: WOODS, W. I., TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS A. M. G. A.; REBELLATO L. (eds). **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision: Springer**, 2009. p. 411-22.
- TEIXEIRA, G. W. Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey Ferralsol in the Central Amazon. **Bayreuther Bodenkundliche Berichte**, Bayreuth, v.72, p.1-255, 2001.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for pre-dicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, n.44, p. 892-898, 1980.
- ZHANG, J. F.; LU, C.; LUO, L. SHAO AND P. HE. Humification characterization of *biochar* and its potential as a composting amendment. **Journal of Environmental Sciences**, v.26, p.390-397, 2014.
- ZHOU, B.; FU, M.; XIE, J.; YANG, X.; LI, Z. Ecological functions of bamboo forest: Research and Application. **Journal of Forestry Research**, v.16, p.143-147, 2005.
- ZIMMERMAN, A. R.; GAO, B. The stability of *biochar* in the environment. In: LADYGINA, N.; RINEAU, F. (eds). **Biochar and Soil Biota**. 1ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. p.1-40.



Potencial de uso alimentar de diferentes espécies de bambus

Ismael Plácido Tomielis⁽¹⁾, Vitor Hugo dos Santos Brito⁽²⁾ e Marney Pascoli Cereda⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Tecnologia e Estudo do Agronegócio (CeTeAgro), Universidade Católica Dom Bosco. Av. Tamararé, 8000, Jardim Seminário, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mails: ismaeltomielis@gmail.com, britovhs@gmail.com e cereda@ucdb.br

Resumo – O consumo de brotos de bambu é comum na culinária asiática, embora restrito a poucas espécies. A mais conhecida é o bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*), mas outras poderiam ser consumidas, dependendo, para isso, da sua caracterização e divulgação. A presente pesquisa caracterizou brotos de bambus (*Bambusa vulgaris*, *B. multiplex*, *B. vulgaris* var. *Vittata* e *Phyllostachys aurea*) processados em conserva (tratamento térmico e acidificação). Os resultados apontam diferenças na composição das amostras em teor de glicídios (9,84 a 53,48 g 100 g⁻¹), fibras (5,71 a 47,56 g 100 g⁻¹) e lipídeos (13,07 a 44,09 g 100 g⁻¹). As espécies *B. multiplex* e *P. aurea* – esta última de sabor delicado, pouco amargo e semelhante ao aspargo –, sem relatos na literatura que as descrevam como comestíveis, apresentaram elevado teor de fibras (45,00 e 47,56 g 100 g⁻¹), consideráveis teores de compostos fenólicos totais (9,50 e 9,81 mg 100 g⁻¹) e valor calórico em torno de 266,45 e 321,37 kcal 100 g⁻¹ respectivamente, quando comparadas a *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*, com 374,35 e 548,09 kcal 100 g⁻¹. Os resultados poderão auxiliar no incentivo ao seu consumo, notadamente pelo aspecto muito valorizado de alimentos funcionais, dada a presença de fibras e compostos fenólicos.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: PHYLLOSTACHYS AUREA, BROTO, FIBRAS, CIANETO.



Potential food use of different species of bamboos

Abstract – *The consumption of bamboo shoots is common in Asian cuisine, although limited to a few species. The best known is Dendrocalamus giganteus, but others could be consumed, depending on its characterization and dissemination. This study used bamboo shoots (Bambusa vulgaris, B. multiplex, B. vulgaris var. Vittata and Phyllostachys aurea) that were processed (thermal treatment and acidification). The results show differences in the composition of the samples in carbohydrate content (9.84 to 53.48 g 100 g⁻¹), fibers (5.71 to 47.56 g 100 g⁻¹) and lipids (13.07 to 44.09 g 100 g⁻¹). The species B. multiplex and P. aurea – the former with delicate flavor, slightly bitter and similar to asparagus –, which had not been previously reported in literature as edible, presented high fiber content (45.00 and 47.56 g 100 g⁻¹), considerable amount of total phenolic compounds (9.50 and 9.81 mg 100 g⁻¹) and calorific value around 266.45 and 321.37 kcal 100 g⁻¹ respectively, when compared with B. vulgaris and B. vulgaris var. Vittata, with 374.35 and 548.09 kcal 100 g⁻¹. The results may help to encourage their consumption, especially due to the highly valued aspect of functional foods, given the presence of fiber and phenolic compounds.*

INDEX TERMS: PHYLLOSTACHYS AUREA, SHOOTS, FIBERS, CYANIDE.

Introdução

Bambus são amplamente empregados como recursos alternativos em diversos segmentos, tanto em nível industrial quanto na agricultura tradicional, principalmente na Ásia e na América Latina (Madhab, 2003; Van Der Lugt, 2005). As potencialidades desses vegetais estão relacionadas, além de inúmeras outras aplicações, à produção de painéis, carvão vegetal, cosméticos, polpas e brotos comestíveis (Satya et al., 2010).

O consumo alimentar de bambu na forma de brotos é amplamente difundido na culinária asiática, em que pode ser encontrado na forma fresca ou processado em conservas (salmoura ou vinagre), fermentado ou desidratado (Chongtham et al., 2011). Graças à popularização de redes de *fast food* e restaurantes especializados, vem crescendo, também no Brasil, o nicho de consumo desses e outros alimentos orientais, o que torna o bambu comestível uma potencial fonte de renda, principalmente para a agricultura familiar,



uma vez que grande parte dos produtos vendidos aqui ainda é importada.

Do ponto de vista de sua composição, a literatura relata a presença de nutrientes importantes nos brotos de bambu, como proteínas, glicídios, fibras e minerais, e aponta que a quantidade destes pode variar em função de condições de clima, fertilidade do solo e espécies (Chongtham et al., 2011).

Já sob a ótica da qualidade sensorial, fatores como textura, sabor e aroma estão relacionados à forma de processamento do alimento, indispensável à elaboração de produtos de qualidade para a comercialização. No processamento em conservas, o tratamento térmico e a acidez do alimento devem ser considerados para a melhoria de maciez, fixação de cor e redução da carga microbiana. A acidez pode ser ajustada pelo emprego de acidulantes permitidos em alimentos, como é feito, por exemplo, no processamento do palmito (Nogueira et al., 1993; Gomes et al., 2006).

A elaboração de produtos com qualidade adequada está relacionada à interação entre os atributos físico-químicos, o processamento e o armazenamento do alimento, e deve atender às especificações técnicas de alimentos seguros estabelecidas por órgãos de vigilância (Hawthorn, 2012). A potencialidade das matérias-primas também exige a diversificação dos processos aplicados, que devem ajudar na eliminação de compostos potencialmente tóxicos, como glicosídeos cianogênicos (Haque & Bradbury, 2001; Coffie et al., 2014).

Espécies de bambus que não são citadas na literatura como comestíveis podem, potencialmente, apresentar caracteres ou qualidades nutricionais interessantes à promoção da saúde humana. Por isso, avalia-se neste trabalho a qualidade físico-química e nutricional de brotos de bambus (*Bambusa vulgaris*, *Bambusa multiplex*, *Bambusa vulgaris* var. *Vittata* e *Phyllostachys aurea*) processados na forma de conservas, de modo a verificar seu potencial como alimento.

Material e métodos

A pesquisa foi realizada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul (20° 26' S, 54° 38' W, 532 m). Os brotos foram obtidos pelo corte direto, no mês de abril de 2015, de bambus cultivados em solo classificado como Neossolo quartzarênico (Embrapa, 2006), apresentando saturação por bases de 60% (minerais Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ disponíveis para planta). As espécies avaliadas foram *Bambusa multiplex* (Lour), *B. vulgaris* (Wendl. ex Nees), *B. vulgaris* var. *Vittata* (McClure) e *Phyllostachys aurea* (Riviere & C.Riviere).

Para o processamento por branqueamento, os brotos foram seccionados

em pedaços de três centímetros com auxílio de uma faca de aço inoxidável e, em seguida, imersos em água fervente com 1% de bicarbonato de sódio durante três minutos. Posteriormente, o material foi resfriado em água gelada, drenado e armazenado em frascos de vidro, adicionado de solução de vinagre 5% e encaminhado para as análises.

ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO - A análise de umidade foi realizada conforme o método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), com base na diferença de massa inicial e final da amostra após a dessecação em estufa a 105 °C, e os resultados expressos em g 100 g⁻¹ massa seca.

A acidez (pH e titulável) também foi estabelecida conforme o IAL (2008), homogeneizando a amostra (20 g) em água destilada (100 mL) e agitando em seguida o material por 30 minutos. O pH foi aferido diretamente em potenciômetro. Já para a determinação da acidez titulável, as suspensões obtidas na determinação de pH foram tituladas com indicador fenolftaleína e os resultados, expressos em mL NaOH 100 g⁻¹ de amostra (IAL, 2008).

A avaliação de cinzas foi estabelecidas por carbonização prévia, seguida de incineração completa em mufla a 550 °C por 6 horas (IAL, 2008), e os resultados expressos em g 100 g⁻¹ massa seca.

Os valores de glicídios totais foram estabelecidos conforme descrito por Somogy (1945) e Nelson (1944), empregando espectrofotometria a 535 nm. Uma curva padrão constituída de solução de glicose foi ajustada, obtendo a equação $Y=2,4401.X+0,090$ ($r^2=0,9907$). Os resultados foram expressos como glicose g 100 g⁻¹ massa seca.

Para análise de proteínas, por sua vez, as amostras foram submetidas aos procedimentos do método Kjeldahl (AOAC, 1990) pela determinação do teor de nitrogênio total por titulação e do teor proteico calculado pelo fator 6,25, e os resultados expressos em g 100 g⁻¹ massa seca.

O extrato etéreo (lipídeos) foi determinado na matéria seca por extrações com éter de petróleo, em aparelho de Soxhlet, de acordo com o método estabelecido por AOAC (1990), e os resultados expressos em g 100 g⁻¹ massa seca.

Os teores de fibra bruta foram determinados segundo AOAC (1990). O material foi tratado com ácido sulfúrico durante duas horas e posteriormente com hidróxido de sódio. Os cálculos foram estabelecidos por diferença de massa e os resultados expressos em g 100 g⁻¹ massa seca.

Com as amostras moídas, foram realizados extratos aquosos para a determinação do conteúdo de fenólicos totais, conforme Swain e Hills (1959), usando o reagente colorimétrico Folin-Ciocalteu (Sigma® P.A.). Foi estabelecida uma curva padrão utilizando ácido gálico (Synth® P.A.), obtendo a



equação $Y=0,1513.X+0,0008$ ($r^2=0,9951$). Os resultados foram expressos como ácido gálico em $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ($\text{mg EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$).

As análises de cianeto foram realizadas a partir da adaptação do procedimento descrito por Brito e colaboradores (2009) e Haque e Bradbury (2001), utilizando cianeto de potássio como padrão (KCN Vetec®, 96% de pureza) e reação colorimétrica com picrato alcalino, obtendo a equação $Y=0,6635.X-0,0215$ ($r^2 = 0,996$). Os resultados de cianeto total foram expressos em mg de cianeto por 100 gramas de amostra em massa seca ($\text{mg CN } \text{g}^{-1} \text{ MS}$).

Por fim, os valores de potencial calórico das amostras foram calculados multiplicando o teor de glicídios e protídeos por 4 e lipídeos por 9, assim expressos em $\text{kcal } 100 \text{ g}^{-1}$ (BRASIL, 2003).

Todas as análises foram realizadas com cinco repetições e os resultados expressos em microgramas, miligramas ou gramas por 100 gramas de amostra em massa seca. Dos resultados obtidos com distribuição normal foram estabelecidos a média, desvio padrão (σ) e coeficiente de variação (CV%). As médias foram comparadas entre si por teste Tukey no nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) com fatores isolados, utilizando o *software* Statistic 7.0 (Statsoft, 2008).

Resultados e discussão

O uso de bambus na alimentação humana é frequentemente relatado na literatura, entretanto o número de espécies empregadas e estudadas para esse fim ainda é pequeno, com destaque para as espécies dos gêneros *Dendrocalamus* e *Guadua* (Chongtham et al., 2011). Embora seja possível o consumo de bambus, este tem permanecido restrito à cultura asiática, em parte por desconhecimento do consumidor, agravado pela falta de oferta de produto.

O mercado brasileiro é dominado pelos brotos do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus*), o preferido da comunidade japonesa. Em geral, esses brotos são comercializados frescos, havendo a necessidade de retirar as partes rígidas e as coberturas celulósicas, com perdas de cerca de 80% da massa inicial. Uma vez realizado o beneficiamento, os brotos apresentam cor verde brilhante, mas que pode escurecer caso não passem por processamento por calor (inativação de enzimas).

Acredita-se que o receio de intoxicação pelo cianeto gerado a partir do glicosídeo taxiphyllin pode restringir o uso alimentar do bambu. Segundo Haque e Bradbury (2001), brotos de bambu podem conter até $160 \text{ mg HCN } 100 \text{ g}^{-1}$. Os brotos de bambus avaliados neste estudo, no entanto, apresen-

taram valores inferiores a 28 mg 100 g⁻¹ MS (tabela 1), o que os classificaria como seguros. Além disso, verifica-se na literatura que o organismo humano apresenta capacidade de desintoxicação a partir da ação da enzima rodanase ou tiosulfato sulfotransferase, além de apresentar a potencialidade de inativação de células tumorais (Ramalho, Aydos, Cereda, 2010).

Tabela 1. Composição físico-química de bambus (*Bambusa vulgaris*, *B. vulgaris* var. *Vittata*, *B. multiplex* e *Phyllostachys aurea*) após processamento de conserva

	Unidade	<i>B. vulgaris</i>	<i>B. vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	<i>B. multiplex</i>	<i>P. aurea</i>
Umidade	g 100g ⁻¹	82,24±1,80 c	92,29±0,50 a	81,92±2,30 c	87,00±0,20 b
pH	-Log [H ⁺]	5,98±0,02 b	5,83±0,01 b	6,07±0,01 a	6,16±0,03a
Acidez Titulável	mL NaOH	0,85±0,10 c	1,10±0,3 a	0,80±0,3c	0,95±0,1b
Cinzas	g 100g ⁻¹	6,71 ±0,20 b	12,08 ±00 a	5,84 ±0,10 c	6,97 ±0,20 b
Glicídios	g 100g ⁻¹	53,48 ±0,02 a	24,27 ±0,06 b	20,86 ±0,01 b	9,84 ±0,02 c
Protédeos	g 100g ⁻¹	10,70 ±0,21 b	13,55 ±0,10 a	14,32 ±0,34 a	7,75 ±0,20 c
Lipídeos	g 100g ⁻¹	13,07 ±0,20 c	44,09 ±0,20 a	13,97 ±0,50 c	27,89 ±0,40 b
Fibras	g 100g ⁻¹	16,04 ±0,60 b	5,71 ±0,30 c	45,00 ±0,40 a	47,56 ±1,01 a
Fenólicos Totais	mg 100g ⁻¹	20,00 ± 0,01 a	22,61 ± 0,02 a	09,50 ± 0,01 b	09,81 ± 0,01 b
Cianeto Total	mg 100g ⁻¹	28,00 ± 0,01 a	20,00 ± 0,01 b	20,01 ± 0,01 b	18,22 ± 0,01 b

Letras minúsculas iguais nas colunas indicam que não há diferença mínima estatística ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ainda na tabela 1, observa-se que os brotos apresentaram um perfil típico de hortaliças, caracterizado por umidade elevada e baixo teor de glicídios. A baixa acidez é também uma característica de diversas hortaliças, como o palmito (Nogueira et al., 1993; Gomes et al., 2006).

O pH também é um problema na produção de bambu para consumo alimentar, principalmente quando são elaboradas conservas. Nesse caso, a medida deveria permanecer abaixo de 4,5 para estabelecer uma conserva segura, como em palmitos (Gomes et al., 2006). Porém as amostras de bambu processadas e acidificadas mostraram, assim que preparadas, leve acidificação, de 5,83 a 6,16 (pH), e valor máximo de 1,10 mL NaOH 100 g⁻¹ de acidez potencial. Esses valores estão acima do pH seguro para garantir inibição do desenvolvimento da bactéria *Clostridium botulinum*, o que indica o uso de aditivos acidulantes.

Os resultados da composição nutricional apresentaram grande variação entre as espécies estudadas, principalmente entre os teores de glicídios totais, variando de 9,84 a 53,48% para *P. aurea* e *B. vulgaris*, respectivamente; as fibras, variando de 5,71% (*B. vulgaris* var. *Vittata*) a 47,56% (*P. aurea*); e os teores de lipídeos, de 13,07 a 44,09% (*B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*).

A comparação das espécies, com branqueamento e acidificação, mostra que os teores de fibras foram elevados para as amostras de brotos de *B. multiplex* (45,00 g 100 g⁻¹) e *P. aurea* (47,56 g 100 g⁻¹), enquanto os valores para *B. vulgaris* var. *Vittata* foram baixos (5,71 g 100 g⁻¹). As fibras desempenham diversas funções benéficas para a promoção da saúde humana, como diminuição de risco de doenças do trato gastrointestinal. As principais funções atribuídas a elas são o aumento da viscosidade estomacal, da capacidade de retenção de carboidratos e lipídeos, da absorção de água, do volume fecal e da aceleração do trânsito intestinal, além da indução da fermentação colônica (Elleuch et al., 2010; Silva et al., 2013).

A necessidade de ingestão de fibras varia de pessoa para pessoa em função do sexo, da idade e do consumo energético. A recomendação da Anvisa (2003) para um adulto é o consumo diário de 25 gramas de fibras, o que possibilitaria a classificação dos brotos como alimento de ação funcional, isto é, um alimento cuja porção conteria a maior parte das necessidades diárias desse componente.

Outro componente nutricional cujo consumo tem sido valorizado pelos benefícios que traz à saúde são os compostos fenólicos. Essa classe de metabólitos secundários apresenta atividade antioxidante, anti-inflamatória e anticarcinogênica, mesmo quando consumida em baixas quantidades (Bruneton, 1995; Kuskoski et al., 2004). Os valores encontrados variaram 22,61 mg 100 g⁻¹ (*B. vulgaris* var. *Vittata*) a 9,50 mg 100 g⁻¹ (*B. multiplex*).

Quando levado em consideração o potencial energético dos bambus (tabela 2), a espécie *B. vulgaris* var. *Vittata* foi a que apresentou maior valor, com cerca de 548,09 kcal 100 g⁻¹, devido à quantidade de lipídeos (44,09 g 100 g⁻¹), que foram mais altas que nas demais espécies. Em contrapartida, *B. vulgaris* apresentou maior teor de glicídios totais, com cerca de 53,48g 100 g⁻¹, o que influenciou também seu potencial calórico, 374,35 kcal g⁻¹.



Tabela 2. Potencial calórico em relação a glicídios, protídeos, lipídeos e o potencial calórico total

	Unidade	<i>B. vulgaris</i>	<i>B. vulgaris</i> var. <i>Vittata</i>	<i>B. multiplex</i>	<i>P. aurea</i>
Glicídios	Kcal 100g ⁻¹	213,92 a	97,08 b	83,44 b	39,36 c
Protídeos	Kcal 100g ⁻¹	42,80 b	54,20 a	57,28 a	31,00c
Lipídeos	Kcal 100g ⁻¹	117,63 c	396,81 a	125,73 c	251,01 b
Total	Kcal 100g ⁻¹	374,35 b	548,09 a	266,45 c	321,37 b

Letras minúsculas iguais nas colunas indicam que não há diferença mínima estatística no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As características nutricionais das espécies estudadas foram semelhantes às descritas na Ásia e Oceania (Satya et al., 2010) o que em si as qualifica com potencial para complementar a oferta no mercado. Mas há também vantagens do ponto de vista da plantação: as touceiras de bambu gigante ocupam um espaço considerável da área plantada, enquanto os bambus estudados são de pequeno porte – em especial a espécie *B. multiplex*, cuja característica alastrante permite colheita abundante.

As espécies *B. vulgaris* e *B. vulgaris* var. *Vittata*, embora entouceirantes, são de porte mediano e mais frequentes no campo brasileiro, assim como nas proximidades das cidades. A divulgação do seu potencial de uso alimentar poderá permitir atender melhor a demanda de mercado com maior diversidade de produtos.

Conclusões

1. As espécies de bambus aqui estudadas apresentaram diferença na composição química e nutricional, em especial nos teores de glicídios (9,84 a 53,48 g 100 g⁻¹), fibras (5,71 a 47,56 g 100 g⁻¹) e lipídeos (13,07 a 44,09 g 100 g⁻¹).
2. Esses brotos ainda são pouco conhecidos dos consumidores e dos mercados, porém a divulgação de suas características poderá incentivar seu consumo, notadamente pelo aspecto muito valorizado de alimento funcional, dado seu alto teor de fibras e a presença de compostos fenólicos em sua composição.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Projeto Desenvolvimento sustentável da região Centro-oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu, CNPq Processo 574 516/2008-5.

Referências

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. **Official methods of analysis**. 15 ed. Washington D.C., 1990. 1141p.
- BRITO, V.H.S.; RAMALHO, R.T.; RABACOW, A.P.M.; MORENO, S.E.; CEREDA, M.P. Colorimetric method for free and potential cyanide analysis of cassava tissue. **Gene Conserve**, v.8, p.841-852, agosto, 2009.
- BRUNETON, J. **Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal plants**. France: Lavoisier Publishing Co., p.265-380, 1995.
- CEREDA, M.P.; LOPES, A.M. In Cd-rom. Determinação do potencial de intoxicação em ratos, de linamarina extraída de mandioca. **Anais do V SLACA**. Campinas-SP, 2003.
- CHONGTHAM, N.; BISHT M.S.; HAORONGBAM, S. Nutritional properties of bamboo shoots: potential and prospects for utilization as a health food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.10, p.153-169, 2011.
- CHOUDHURY, D.; SAHU, J.K.; SHARMA, G.D. Bamboo shoot: microbiology, biochemistry and technology of fermentation. **Indian journal of traditional knowledge**, v.11, e v. 2, p.242-249, abril, 2012.
- COFFIE, G.Y.; ANTWI-BOASIAKO, C.; DARKWA, N.A. Phytochemical constituents of the leaves of three bamboo (Poaceae) species in Ghana. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v.2, p.34-38, janeiro, 2014.
- DAHLQUIST, A. Determination of maltase and isomaltase activities with a glucose oxidase reagent. **Biochemistry Journal**, v.90, p.547-551, setembro, 1961.
- ELLEUCH, M.; BEDIGIAN, D.; ROISEUX, O.; BESBES, S.; BLECKER, C.; ATTIA, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterization, technological functionality and commercial applications: a review. **Food Chemistry**, v.124, p. 411-421, junho, 2010.
- FAO/WHO. Protein quality evaluation: **Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation, FAO Food and Nutrition Paper** 51. Rome: FAO, 1991.
- GOMES, M.; VALLE, J.; RAUPP, J.S.; CHAIMSOHN, F.P.; BORSATO, A.V. Processamento de conservas de palmito caulinar de pupunha contendo diferentes graus de acidez. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.569-574, maio, 2006.
- HAQUE, M.R.; BRADBURY J.H. Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis methods. **Food Chemistry**, v.77, p.107-114, maio, 2002.
- HAWTHORN, J. **Quality control in the food industry**. In: OMOTAYO, R.K. and DENLOYE, S.A. 2012. Nigerian, Academic Press, London.



- INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo, 2008, v.1. 98p.
- KENDALL, C.W; ESFAHANI, A; JENKINS, D.J. The link between dietary fibre and human health. **Food Hydrocolloid**, v.24, p.42-48, Janeiro, 2010.
- KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; GARCÍA-PARILLA, M.C.; TRONCOSO, A.M.; FETT, R. Actividad antioxidante de pigmentos antociânicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, p.691-693, outubro, 2004.
- MADHAB, J. The green gold: under exploited wealth of the north-east India. **Dialogue**, v.5, p.45-52, abril, 2003.
- NELSON, N.A. Photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemical**, n.153, p.375-380, fevereiro, 1944.
- NOGUEIRA, J.N.; CANTARELLI, P.R.; GALLO, C.R.; MORENO, I.A.M. Efeito da acidificação, fermentação e adição de cálcio na qualidade de couve-flor (*Brassica oleraceae* L.) processada pelo calor. **Scientia Agricola**, v.50, p.127-139, fevereiro, 1993.
- RAMALHO, R.T.; AYDOS, R.D.; CEREDA, M.P. Evaluation of acetone cyanohydrin effect in “in vitro” inactivation of the Ehrlich ascites tumor cells. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v.25, p.111-116, janeiro, 2010.
- SATYA, S.; BAL L.M.; SINGHAL, P.; NAIK, S.N. Bamboo shot processing: food quality and safety aspect. **Trends in food Science and Technology**, v.21, p.181-189, abril, 2010.
- SILVA, E. C.; SOBRINHO, V.S.; CEREDA, M.P. Stability of cassava flour-based food bars. **Food Science and Technology**, v.33, p.192-198, janeiro, 2013.
- SOMOGY, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemical**, v.1, n.160, p.69-73, maio, 1945.
- SOUZA, A.; MORAES, M.G.; RIBEIRO, R.C.L.F. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. **Acta Botânica Brasílica**, v.19, p.81-90, janeiro, 2005.
- STATSOFT INC. **Statistica data analysis software system Version 7.0**. Tulsa: Statsoft Inc. 2008.
- SWAIN, T.; HILLS, W.E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of Science Food Agriculture**, v.10, p.63-68, maio, 1959.
- VAN DER LUGT, P. The bamboo sector in Colombia and Ecuador: a state of the art analysis of opportunities and constraints. **Journal Bamboo and Rattan**, v.4, p.421-440, novembro, 2005.



Potencialidades nutracêuticas de brotos de bambus

*Jannaína Velasques da Costa Pinto⁽¹⁾,
Vitor Hugo dos Santos Brito⁽¹⁾, Marney Pascoli Cereda⁽¹⁾*

⁽¹⁾ Centro de Tecnologias e Estudos do Agronegócio (CeTeAgro), Universidade Católica Dom Bosco. Av. Tamarandá, 8000, Jardim Seminário, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mails: jannavelasques@gmail.com, britovhs@gmail.com e cereda@ucdb.br

Resumo – Bambus são gramíneas perenes e arborescentes de ampla distribuição e ecoplasticidade. Intrinsecamente relacionadas à História da Humanidade, suas espécies são amplamente empregadas pela medicina tradicional entre os mais diferentes povos, especialmente na Ásia, mas sua utilidade como alimento funcional ainda é desconhecida do grande público ocidental. As propriedades farmacológicas dos bambus vêm sendo comprovadas por pesquisas nos últimos anos, sobretudo as atividades antioxidante, antimicrobiana e antitumoral. Além disso, aos seus brotos são atribuídas propriedades nutracêuticas importantes, graças à significativa presença de fitoesteróis, triterpenos e fenóis. O termo nutracêutico foi criado a partir da combinação das palavras “nutrição” e “farmacêutico” para nomear uma área crescente da pesquisa biomédica. Alimentos nutracêuticos são benéficos para a saúde humana e ajudam a prevenir e a combater um grande número de doenças. Essas características consagraram o bambu como um dos cinco alimentos populares recomendados para consumo por populações em risco alimentar. Porém, apesar das crescentes prospecções, ainda há muito a se pesquisar. Neste artigo serão enfatizadas as principais funções nutracêuticas e os benefícios do consumo de brotos alimentares de bambu, com base em literatura especializada da última década.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BROTOS DE BAMBU, ETNOMEDICINA, PROSPECÇÕES FITOQUÍMICAS, ALIMENTO FUNCIONAL, SEGURANÇA ALIMENTAR.



Nutraceutical potential of bamboo shoots

Abstract – Bamboos are perennial and arborescent grasses widely distributed and of recognized ecoplasticity. They are intrinsically related to human history and the species are used by different indigenous people and their traditional medicine, specially in Asia. In recent years, an increase on scientific reports has reinforced their pharmacological potential due to antioxidant, antimicrobial and anticancer activities. Moreover, nutraceutical properties are recognized on their shoots thanks to high contents of phenolic compounds, phytosterols and triterpenoids, which allowed their classification among the 5 popular foods recommended among people under nutritional risks and poverty. This review emphasizes the main nutraceuticals functions and the health benefits of bamboo shoots and their potential for utilization as a healthy food, based on specialized literature from the last two decades.

INDEX TERMS: BAMBOO SHOOTS, ETHNO MEDICINE, PROSPECTS, FUNCTIONAL FOOD, FOOD SAFETY.

Introdução

Intrinsecamente ligados à história da Humanidade, os brotos de bambu são consumidos desde tempos imemoriais na Ásia como fonte alimentícia e também medicinal. Acredita-se que existam cerca de 1.500 espécies distribuídas entre 87 gêneros, mas o número real de catalogações é impreciso face ao contínuo surgimento de novas variedades em todo o mundo. A maior parte dessas espécies produz brotos com potencial para o consumo humano. Apesar disso, menos de 100 delas são cultivadas com esse intuito (Mandhab, 2003; Sastry, 2008; Ogunjinmi, 2009; Nongdam & Tikendra, 2014).

Na China, os brotos de bambu eram servidos como pratos nobres durante a Dinastia Tang (618-907 d.C.) em reconhecimento ao seu valor nutricional, mas o primeiro registro oficial de suas propriedades aparece nos textos farmacêuticos do Compendium de Matéria Médica, escritos durante a Dinastia Ming (1368-1644 d.C.).

Graças às suas propriedades multifuncionais, povos tradicionais de diversos países asiáticos se referem ao bambu de forma peculiar e mesmo sentimental. No Japão, ele é denominado “Rei das Florestas”; no Vietnam, “Meu Irmão”; na Índia, “Ouro Verde”; na China, “Amigo do Povo” (Bao, 2006; Chongtham et al., 2011).



No Sudeste Asiático, onde se concentra o principal mercado de brotos de bambu, atualmente eles são um ingrediente muito popular da culinária local. A China se destaca como o maior produtor, com aproximadamente 1,3 milhões de toneladas anuais. Os brotos são consumidos *in natura* e também processados e preservados como picles, enlatados, fermentados e desidratados.

Além da reconhecida palatabilidade, os brotos de bambu são ricos em nutrientes, principalmente proteínas, carboidratos e minerais. Possuem fitoesteróis e alta taxa de fibras alimentares, que estão relacionadas à redução de colesterol e a atividades anticarcinogênicas. Essas características permitem sua classificação como alimento nutracêutico e medicamento natural (Arye & Boye, 2015; Liese & Kohl, 2015).

O termo “nutracêutico” foi criado em 1989 pela Fundação para Inovações em Medicina (Nova York, EUA), resultado da combinação das palavras “nutrição” e “farmacêutico”, para nomear uma área crescente dentro da pesquisa biomédica. Em sua origem, produtos nutracêuticos são substâncias bioativas isoladas ou purificadas a partir de alimentos de comprovada atividade preventiva ou de tratamento contra doenças crônicas e degenerativas, graças aos benefícios fisiológicos e metabólicos ao sistema imunológico (Andlauer & Furst, 2002; Nirmala & Bisht, 2015).

Na última década, o desenvolvimento econômico, aliado ao aumento significativo na qualidade de vida dos consumidores, influenciou positivamente a busca por alimentos naturais, saudáveis e de reconhecida característica nutracêutica, sobretudo em países desenvolvidos. Cada vez mais, evidências científicas comprovam as correlações diretas entre dieta alimentar e saúde, alavancando a engenharia e comercialização de “superalimentos” e suplementos nutracêuticos.

Por outro lado, também é necessário discutir a inserção desses alimentos na cadeia produtiva e consumidora de países pobres como estratégia de manutenção da segurança alimentar e combate à subnutrição. Sob essa ótica, os bambus são importantes candidatos por suas comprovadas propriedades nutritivas, funcionais, farmacêuticas e nutracêuticas, aliadas à facilidade de propagação e cultivo das espécies (Malla et al., 2014; Nirmala et al., 2014).

Neste artigo, serão destacados tanto os valores nutricionais dos brotos como algumas importantes prospecções fitoquímicas realizadas na última década com diferentes espécies de bambus. O objetivo é valorizar a alimentação e a medicina tradicionais como medida indispensável à manutenção da segurança alimentar em países emergentes onde são cultivados.



VALOR NUTRICIONAL DOS BROTOS DE BAMBU - Apesar de comumente associado à utilização industrial, brotos de bambu são largamente empregados como alimento tradicional por populações nativas da Ásia. Comumente encontrado em florestas na China, é consumido há 2.500 anos e hoje está listado entre os cinco alimentos mais populares de recomendável atividade funcional (Chongtham et al., 2011).

A maior parte da literatura que aborda os valores nutricionais de brotos comestíveis de bambus enfatiza seus baixos índices calóricos e recomenda sua ingestão como fonte de fibras alimentares (tabela 1) e fitoesteróis, elementos indispensáveis em dietas de redução de gordura e colesterol e associados ao controle de hipertensão, obesidade e doenças coronárias.

Tabela 1. Comparação entre nutrientes disponíveis em espécies de brotos de bambus

Espécie	Umidade	Amino-ácidos	Proteínas	Carboidratos	Amido	Lípidios	FA	Vit C	Vit E
g 100g ⁻¹								mg 100g ⁻¹	
<i>B. bambos</i>	89,83	3,98	3,57	5,42	0,25	0,50	3,54	1,90	1,38
<i>B. kingiana</i>	90,00	3,70	3,57	5,45	0,34	0,35	4,49	2,10	1,38
<i>B. nutans</i>	92,00	3,89	2,84	5,47	0,21	0,40	2,20	1,19	0,68
<i>B. polymorpha</i>	90,26	3,42	3,64	5,44	0,38	0,46	3,81	2,60	0,76
<i>B. tulda</i>	83,60	3,65	3,69	6,92	0,59	0,48	3,97	1,42	0,85
<i>B. vulgaris</i>	90,60	3,57	3,64	6,51	0,27	0,50	4,24	4,80	1,01
<i>D. asper</i>	89,40	3,12	3,59	4,90	0,36	0,40	3,54	3,20	0,95
<i>D. brandisii</i>	89,80	3,01	2,31	4,90	0,49	0,24	4,03	1,59	0,61
<i>D. giganteus</i>	90,70	3,86	3,11	5,10	0,51	0,39	2,64	3,28	0,89
<i>D. hamiltonii</i>	92,51	3,18	3,72	5,50	0,47	0,41	3,90	2,45	0,86
<i>D. membranaceus</i>	89,30	3,46	3,38	5,40	0,23	0,43	2,91	1,58	0,63
<i>D. strictus</i>	90,10	3,07	2,60	6,17	0,31	0,33	2,26	2,43	0,71
<i>G. albociliat</i>	89,23	3,52	3,05	4,59	0,31	0,51	4,15	1,00	0,73
<i>G. rostrata</i>	90,56	3,17	3,56	4,32	0,27	0,56	4,20	3,20	0,63

B., *Bambusa*; *D.*, *Dendrocalamus*; *G.*, *Gigantochloa*; FA, fibras alimentares; Vit C, vitamina C; Vit E, vitamina E.

Adaptado de Chongtham et al. (2011)

Além disso, os perfis de minerais dos brotos de bambu destacam a presença de minerais essenciais a uma dieta balanceada (tabela 2), como potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e, em menores proporções, fósforo (P) e selênio (Se) (Sharma et al., 2004; Xu et al., 2005; Kumbhare & Bhargava, 2007; Nirmala et al., 2008; Park & John, 2009).

Tabela 2. Comparação entre minerais de brotos de diferentes espécies de bambus

Espécie	Fósforo	Ferro	Sódio	Cálcio	Potássio	Magnésio
<i>Bambusa bamboos</i>	30,12	3,00	10,10	0,36	-	5,38
<i>B. nutans</i>	900	-	-	1500	30,0	40,0
<i>B. polymorpha</i>	15,06	1,53	-	180,69	-	-
<i>B. tulda</i>	700	1,57	12,96	1300	20,0	40,0
<i>B. vulgaris</i>	220	-	400	320	920	100
<i>Dendrocalamus asper</i>	40,95	3,37	10,14	5,51	464	10,14
<i>D. giganteus</i>	12,57	1,06	3,64	26,93	275	9,57
<i>D. strictus</i>	58,13	2,91	0,08	139,5	-	0,17

Legenda: (-) Sem dados disponíveis na literatura consultada. Adaptado de Nongdam & Tikendra (2014)

A tabela 3 (adaptada de Chongtham et al., 2011) apresenta uma análise comparativa entre os nutrientes encontrados nos brotos de bambu e os vegetais mais comumente consumidos. Na tabela 4, esses valores são comparados em função do processamento mais comum dos brotos.

Tabela 3. Comparação entre nutrientes disponíveis em brotos de bambus e outros vegetais de comum consumo

Espécie	Amino-ácidos	Proteínas	Carboidratos	Amido	Lipídeos	FA	VitC	Vit E
<i>Bambusa tulda</i>	3,65	3,69	6,92	0,59	0,48	3,97	1,42	0,61
<i>Dendrocalamus hamiltonii</i>	3,18	3,72	5,50	0,50	0,41	3,90	2,45	0,71
<i>Amaranthus gangeticus</i>	1,30	4,40	6,10	-	0,50	1,00	1,00	43,30
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	0,40	5,90	7,60	-	0,40	2,00	2,50	46,40
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>	0,30	1,80	5,60	-	0,10	1,00	2,60	32,20
<i>Daucus carota</i>	0,20	0,90	10,60	-	0,20	1,20	1,20	3,00
<i>Raphanus sativus</i>	0,10	0,70	3,40	-	0,10	0,60	1,60	15,00
<i>Spinacea oleracea</i>	0,30	2,00	2,90	-	0,70	2,00	0,60	28,10
<i>Solanum tuberosum</i>	0,20	1,60	22,60	15,40	0,10	0,40	0,40	19,70
<i>Abelmoschus esculantus</i>	0,30	1,90	6,40	-	0,20	1,20	1,20	13,00
<i>Citrullus vulgaris</i>	0,20	1,40	3,40	-	0,20	1,00	1,00	-
<i>Cucumis sativus</i>	0,10	0,60	2,50	0,10	0,10	0,40	0,70	3,20
<i>Curcubita maxima</i>	0,20	1,40	6,50	-	0,40	1,10	0,70	9,00
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,30	18,80	20,10	-	2,0	1,80	4,60	-
<i>Solanum melongena</i>	0,20	1,40	4,00	-	0,30	1,30	1,30	12,00

FA, fibras alimentares; Vit C, vitamina C; Vit E, vitamina E. Adaptado de Chongtham et al. (2011)

Tabela 4. Composição nutricional de diferentes espécies de bambus em função do processamento

Processamento	Espécie	Proteínas	Carboidratos	Lipídios	FA	Vit C	Vit E
		g 100g ⁻¹				mg 100g ⁻¹	
Brotos <i>in natura</i>	<i>D.strictus</i>	21,51	85,98	0,10	0,98	5,80	-
	<i>D.asper</i>	25,80	2,90	3,59	0,70	3,30	0,91
	<i>D.giganteus</i>	-	5,10	0,39	-	3,28	0,69
	<i>B.vulgaris</i>	25,70	3,40	0,20	0,70	13,70	-
	<i>B.nutans</i>	21,20	3,30	1,00	0,76	5,30	-
Brotos Cozidos	<i>D.strictus</i>	-	5,00	-	0,96	-	-
	<i>D.asper</i>	17,10	3,10	-	0,70	-	-
	<i>D.giganteus</i>	11,66	-	-	-	-	-
	<i>B.vulgaris</i>	13,50	5,00	-	0,96	-	-
	<i>B.nutans</i>	17,30	5,10	-	0,75	-	-
Brotos fermentados	<i>D.strictus</i>	-	-	-	-	-	-
	<i>D.asper</i>	-	-	-	-	-	-
	<i>D.giganteus</i>	-	-	-	0,21	0,32	1,09
	<i>B.vulgaris</i>	-	-	-	-	-	-
	<i>B.nutans</i>	-	-	-	-	-	-

FA, fibras alimentares; Vit C, vitamina C; Vit E, vitamina E. Legenda: (-) Sem dados disponíveis na literatura consultada. Adaptado de Nongdam & Tikendra (2014)

Outro aspecto nutracêutico relevante do consumo de brotos de bambus está relacionado à presença de aminoácidos essenciais ao bom funcionamento do organismo humano. Brotos *in natura* são fontes importantes de tirosina, arginina, histidina e leucina. A tirosina, por exemplo, está intrinsecamente associada à regulação bioquímica do metabolismo humano como constituinte majoritário dos precursores da adrenalina. Além disso, atua na regulação funcional das glândulas tireóide e pituitária, envolvidas na produção e regulação hormonal (Ferreira et al., 1995a; Kozukue et al., 1999; Zhang et al., 2011).

Chongtham et al. (2011) afirmam que o incentivo ao consumo de brotos de bambus como alimento funcional é justificável a partir de cinco vertentes:

- Riqueza nutricional, em virtude dos altos teores de proteínas (aminoácidos), carboidratos, minerais e vitaminas;
- Função nutracêutica, reforçada pela presença de fitoesteróis e fibras alimentares de importante atividade no controle do colesterol;
- Altos teores de fibras alimentares, de 6 a 8 g.100 g⁻¹, e baixa caloria;
- Baixos teores de gorduras, 2,46 g.100 g⁻¹, o que favorece seu consumo em dietas de perda de peso;

- Palatabilidade; além de o alto teor de celulose em brotos de bambus estimular o apetite, a textura crocante e macia desse vegetal, aliada ao sabor agradavelmente adocicado, o transformou em iguaria *gourmet* no ocidente;

Soma-se a esses pontos a manutenção da segurança alimentar em países em desenvolvimento, que justificaria sua inserção na cadeia produtiva agrícola. Os bambus são espécies de fácil cultivo e manejo, rápido crescimento e notável produção de biomassa. Por isso, são considerados recursos renováveis pela recomposição permanente a partir de seus rizomas.

USO NA MEDICINA TRADICIONAL - Brotos de bambus têm sido empregados na medicina tradicional chinesa há mais de 2.000 anos. Diversas referências às suas características digestivas e farmacológicas foram encontradas em compêndios e livros medicinais, com citações às suas propriedades estimulantes da peristaltia intestinal e à ação preventiva a doenças cardiovasculares e tumorais. Os bambus também são utilizados, no Sul da Ásia, no combate à hipertensão, sudorese e paralisia (Bao, 2006).

Na medicina ayurvédica, a planta tem inúmeras aplicações. Tinturas preparadas a partir de folhas jovens são utilizadas de maneira tópica como afrodisíaco, estimulante e antiartrose e, ingeridas em pequena quantidade, como emenagogo (estimulante do fluxo menstrual) e anti-helmíntico (vermífugo). O suco de seus brotos é indicado por suas propriedades calmantes, depurativas, estomacais e antidisentéricas; e a água armazenada nos colmos combate febres, infecções, hemorragias e paralisias, além de ser empregada em tratamentos antiofídicos e contra hanseníase (Nazreen et al., 2011; Sangeetha et al., 2015).

Nas tradicionais medicinas indo-persa e tibetana, diversas partes do bambu são utilizadas e têm suas propriedades reconhecidas. A secreção rica em sílica presente nos segmentos internodais é muito usada contra diversas enfermidades. Em Java (Indonésia), por exemplo, usa-se essa seiva em tratamentos de icterícia. Em Naga (Filipinas), os brotos tenros de *Bambusa tulda* são fervidos e aplicados de maneira tópica no tratamento de catapora e outras doenças dermatológicas (Nirmala et al., 2014).

Recentemente, pesquisas e prospecções utilizando folhas, brotos e resíduos de podas de diferentes espécies de bambus têm comprovado essas propriedades antes defendidas apenas pelo uso popular tradicional (figura 1). Esses estudos revelaram também características antioxidante, anti-inflamatória e antitumoral dos bambus, além de uma considerável ação antifúngica e an-

timicrobiana de seus derivados pirolisados, que desempenham importante atividade na proteção contra estresse oxidativo dos neurônios (Akao et al., 2004; Fujimura et al., 2005; Hong et al., 2010).

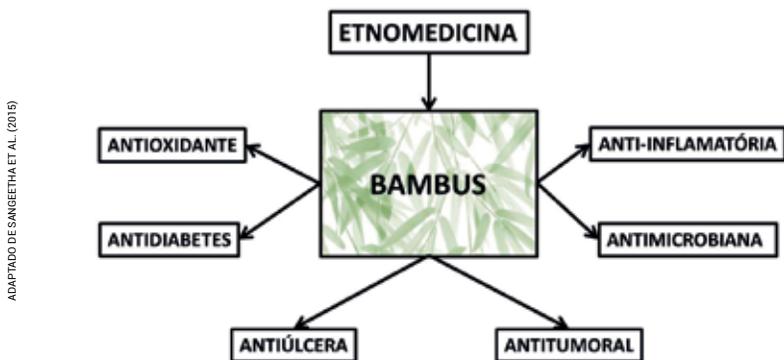


Figura 1. Propriedades farmacológicas atribuídas a diferentes partes de bambus

CONSTITUINTES BIOATIVOS - Fitoquímicos são compostos fisiologicamente ativos produzidos a partir do metabolismo secundário vegetal. Grande parte dos metabólitos é induzida por rotas alternativas em processos de adaptação e/ou defesa da planta às mais adversas condições bióticas e abióticas, e alguns grupos possuem significativa importância à saúde humana – carotenoides, compostos fenólicos (flavonoides, fitoestrogenos, ácidos fenólicos), saponinas, tocotrienóis, entre outros (Rodriguez et al., 2006; Biesalski et al., 2009).

Cada vez mais evidências científicas reforçam que o consumo de certos grupos de alimentos auxilia na prevenção de doenças geriátricas, coronárias e câncer. Numerosas pesquisas levaram à identificação e classificação desses “compostos bioativos” presentes nos alimentos e capazes de influenciar o metabolismo e a sinalização celular, assim como a expressão gênica, alterando mecanismos de precursão e desenvolvimento de diferentes patologias (Kris-Etherton et al., 2004; Biesalski et al., 2009).

Mesmo considerando sua aplicação milenar nas medicinas tradicionais chinesa, japonesa e ayurvédica, ainda são poucos os trabalhos disponíveis que abordam o perfil fitoquímico das diferentes espécies de bambus empregadas, associando-o às atividades farmacológicas de seus metabólitos. Prospecções preliminares com extrato aquoso de *B. vulgaris* determinaram a presença de alcalóides, taninos, fenóis, glicosídeos, saponinas, flavonoides e antraquinonas (Yakubu et al., 2009).

FITOQUÍMICA DOS BAMBUS

Fenóis - Os compostos fenólicos fazem parte de um grupo fitoquímico de atividade multifuncional, sobretudo antioxidante, anti-inflamatória, vasodilatadora e cardioprotetora (Manach et al., 2005; Puupponem-Pimia et al., 2005; Lehane & Saliba, 2008). São também os mais encontrados devido à sua importância fisiológica e morfológica nas plantas, atuando como reguladores do crescimento e reprodução, de papel determinante sobre características sensoriais e cores, além de importante função protetora contra patógenos e herbívoros (Balasundram et al., 2006).

Alguns dos grupos fenólicos de atividade antioxidante natural mais encontrados são compostos flavonoides, derivados do ácido cinâmico, tocoferóis, cumarinas e ácidos orgânicos polifuncionais, que contribuem para classificação funcional dos alimentos (Vinson et al., 1998). Hoje sabe-se que a significativa atividade antioxidante dos bambus está relacionada aos altos teores de polifenóis encontrados em diferentes espécies. Alguns trabalhos com extratos foliares das espécies *Sasa borealis* e *Phyllostachys bambusoides* revelaram atividade sequestrante de radicais livres DDPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) e neutralização de nitritos (Lim et al., 2004; Lu et al., 2006; Park et al., 2007).

Brotos de bambus também são ricos em tocoferóis (vitamina E), reconhecidos como os principais antioxidantes celulares e determinantes na sustentabilidade das membranas. Kim et al. (2007) estimaram as concentrações de α -tocoferol e γ -tocoferol (0,26 e 0,42 mg 100 g⁻¹, respectivamente) associados à estabilização do óleo vegetal e de importante atividade antioxidante sobre componentes lipídicos de membranas celulares e de organelas.

Oito compostos fenólicos foram identificados como majoritários em extratos de brotos (figura 2), com destaque à presença dos ácidos siríngico, p-hidroxibenzoico e protocatecuico (Kim et al., 2001; Quitain et al., 2004). Extratos preparados a partir de resíduos de podas e cascas de bambus apresentaram rica atividade de triterpenos, cujos testes *in vivo* apontaram atividades antifadiga, anti-hipertensiva e antiobesidade, resultando inclusive em perda de peso dos Winstars (Zhang et al., 2006; Gong et al., 2010).

Prospecções de *Phyllostachys* spp. e *D. latiflora* associam sua atividade antibacteriana e antifúngica à presença da proteína dendrocina em brotos juvenis (Wang & Ng, 2003). Além disso, o consumo *in natura* de brotos de *P. pubescens* e *P. nigra* auxilia no controle da pressão arterial por sua ação inibidora sobre a enzima conversora da angiotensina (Park et al., 2010).

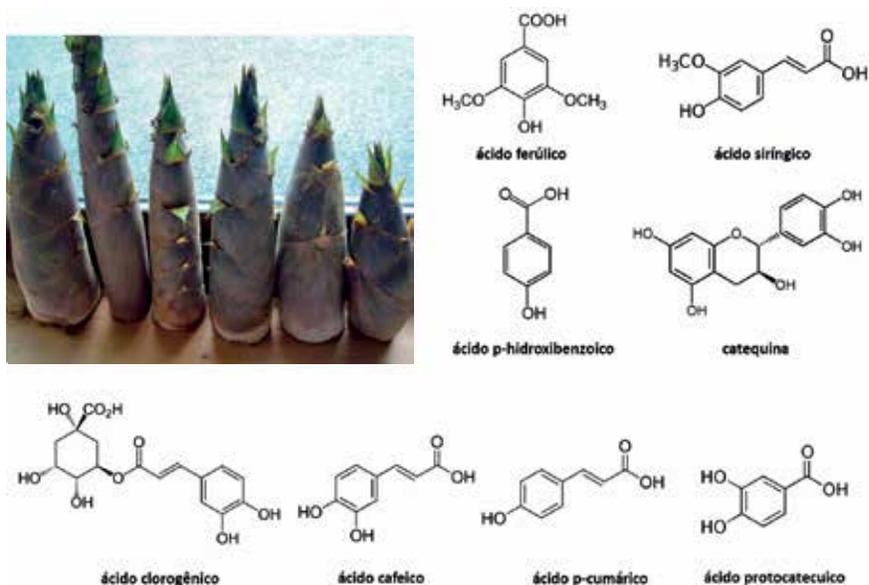


Figura 2. Representação das estruturas químicas dos constituintes fenólicos presentes em brotos de bambus

Fitoesteróis - Brotos de bambus são boas fontes de fitoesteróis, precursores de vários esteroides farmacologicamente ativos e de ação reconhecidamente nutracêutica. Os fitoesteróis são compostos ativos majoritários das frações não-saponificáveis de lipídios. Suas propriedades benéficas à saúde humana têm sido investigadas há muitas décadas e, entre as mais importantes, estão a ação redutora de LDL e a proteção contra doenças cardiovasculares (Lagarda et al., 2006; Ostlund, 2007). Mesmo quando assimilados em baixa quantidade, apenas traços desses compostos são capazes de inibir significativamente a absorção do colesterol intestinal e induzir a recirculação do colesterol biliar.

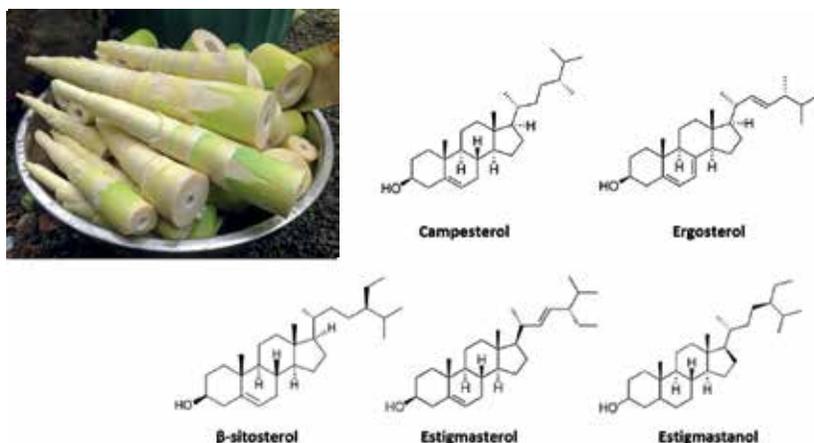
Além disso, nos últimos anos vários experimentos têm sugerido propriedades anticâncer associadas à ação dos fitoesteróis (McCann et al., 2003; Ju et al., 2004; Bradford & Awad, 2008; Woyengo et al., 2009). Esses compostos possuem ação inibitória da produção de cancerígenos, controlando o crescimento, invasão e metástase, como também promovendo apoptose de células carcinógenas. Por agirem sobre o sistema imunológico, os fitoesteróis contribuem com o rápido reconhecimento mutagênico, influenciando a biossíntese de esteróis e afetando o crescimento das células hormônio-dependentes (Meric et al., 2006).

Essa substância não pode ser sintetizada por humanos e precisa ser absorvida por meio de uma dieta balanceada. Nas plantas, mais de 200 tipos

diferentes de fitoesteróis já foram identificados, mas a atenção ao consumo de alimentos ricos nesses compostos é relativamente recente na nutrição humana.

Leguminosas (ervilhas, lentilhas, amendoins), grãos (milho, arroz, aveia, trigo), nozes, amêndoas e castanhas são fontes reconhecidas de fitoesteróis. A indústria farmacêutica também usa esses compostos como precursores de corticosteroides, contraceptivos orais, hormônios estrogênicos, anabolizantes sintéticos e agentes anti-inflamatórios.

Em brotos de bambus, prospecções utilizando CG-MS (cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas) revelaram conteúdo significativo de fitoesteróis (28,7%) e presença majoritária de β -sitosterol (24,6%), campesterol (2,2%), estigmasterol (1,2%), colesterol (0,6%), ergosterol (0,2%) e estigmastanol (<0,1%) (figura 3) (Lu et al., 2009; Lu et al., 2010).



CRÉDITOS: ADAPTADO DE CHONGTHAM ET AL. (2011)

Figura 3. Representação das estruturas químicas de fitoesteróis encontrados em brotos de bambus

Considerando a alta disponibilidade desses compostos em brotos de bambus, aliada à facilidade de cultivo e rendimento em produção da planta, seria de extrema relevância a implantação de experimentos, avaliando sua bioatividade em função de diferentes tratos culturais e sazonalidade da colheita. A literatura ainda não dispõe de dados precisos sobre as práticas agrônomicas aconselháveis a uma coleta eficiente de compostos secundários, mas o cultivo de brotos de bambus destinados à exploração farmacológica também deve ser considerado uma alternativa sustentável e rentável a pequenos agricultores.

Taxifilina (glicosídeos cianogênicos) - Alguns compostos produzidos pelas plantas podem reduzir o valor nutritivo ou ainda acarretar efeitos danosos ou toxicológicos quando ingeridos em excesso. O reconhecimento dessas substâncias, também denominadas “antinutricionais”, é de suma importância para garantir a eficiência e segurança alimentar.

No caso de brotos de bambus, estímulos e injúrias externas, tais como poda, corte, herbivoria, estimulam a liberação de β -glicosidase, que, agindo sobre a taxifilina, aumenta a produção do ácido cianídrico (HCN). A taxifilina é um glicosídeo cianogênico presente em todas as espécies de bambu, mas variável em função da época e desenvolvimento fisiológico dos brotos. Sua concentração máxima em brotos de *B. arundinaceae* (1010 mg.kg^{-1}) está bem acima de plantas conhecidamente tóxicas como raízes de mandioca (27 mg.kg^{-1}), folhas de sorgo (750 mg.kg^{-1}), sementes de damasco (785 mg.kg^{-1}) e folhas de taro (29 mg.kg^{-1}) (Haque & Bradbury, 2002; Fsanzi, 2004; Pramod et al., 2011).

A presença de glicosídeos cianogênicos deve ser motivo de prudência no consumo de brotos, pois o HCN interfere no funcionamento da citocromo oxidase, inibindo a respiração celular. Concentrações entre $0,5\text{-}3,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ vivo são consideradas letais (Nongdam & Tikendra, 2014).

Apesar disso, a taxifilina é altamente instável comparada a outros compostos, como a linamarina e lotaustralina encontradas na mandioca, sendo facilmente decomposta quando submetida à fervura prévia (Ferreira et al., 1995b; Rana et al., 2012).

Prospecções futuras e considerações finais

Nos últimos anos, inúmeras pesquisas têm comprovado que a dieta alimentar pode modular funções fisiológicas e ainda desempenhar importante atividade no controle e prevenção de doenças. Existe uma tendência mercadológica crescente, entre países desenvolvidos e emergentes, de adoção e valorização de uma dieta nutricionalmente completa.

Terminologias como “alimento funcional” e “alimento nutracêutico” foram então cunhadas no intuito de diferenciar alimentos que promovam benefícios à saúde humana (alimento funcional), incluindo prevenção de doenças ou mesmo sua eliminação (alimento nutracêutico). Nesse sentido, os brotos de bambus possuem alto valor nutritivo e compostos ativos de promissora atividade nutracêutica.

A despeito das demais culturas, bambus crescem naturalmente, sem grandes intervenções ou seleções, e ainda têm expressiva resistência a doenças, insetos, injúrias ambientais, com notável desenvolvimento e produção sem necessidade de fertilização química.

Mas, apesar de os brotos de bambu integrarem o menu diário da maioria dos povos asiáticos, sua utilidade como alimento funcional ainda é desconhecida do grande público ocidental. Por isso, em muitos países os brotos estão disponíveis apenas em sua versão enlatada, graças à produção local limitada e insuficiente.

É inegável que existe um potencial imenso a ser explorado. Algumas empresas já empregam o bambu como matéria coadjuvante em margarinas, óleos vegetais, molhos e biscoitos. Mas é preciso ampliar as pesquisas envolvendo o processamento adequado das espécies, além de se criar estratégias de *marketing* para conscientizar e ampliar os mercados consumidores.

Em um momento em que se discute incessantemente segurança alimentar, estamos diante de uma das culturas mais rústicas, produtivas e nutracêuticas que, devidamente empregada, pode ser aliada no combate à assombrosa escassez de alimentos e à subnutrição humana.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Projeto Desenvolvimento sustentável da região Centro-Oeste tendo por base a cadeia produtiva do bambu, CNPq Processo 574 516/2008-5.

Referências

- ANDLAUER, W.; FURST, P. Nutraceuticals: a piece of history, present status and outlook. **Food Research International**, v.35, p.171-176, 2002.
- AKAO, Y.; SEKI, N.; NAKAGAWA, Y.; Yi, H.; Matsumoto, K.; Ito, Y.; Ito, K.; Funaoka, M.; Maruyama, W.; Naoi, M.; Nozawa, Y. A highly bioactive lignophenol derivative from bamboo lignin exhibit a potent activity to suppress apoptosis induced by oxidative stress in human neuroblastoma SH-SY5Y cells. **Bioorganic and Medicinal Chemistry**, v.12, p.4791-801, 2004.
- ARYE, A.; BOYE, J. Current and emerging trends in the formulation and manufacture of nutraceuticals and functional food products. In: Boye, I. J. (ed). **Nutraceutical and functional food processing technology**. UK: John Wiley & Sons. 2015. 400p, p.1-52.
- BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agricultural by-products: antioxidant activity, occurrence and potential uses. **Food Chemistry**, v.99, p.191-203, 2006.



- BAO, J. The nutrition and bioactive function of bamboo shoots. **Food Nutrition in China**, v.4, p.2-3, 2006.
- BIBSALSKI, H. K.; DRAGSTED, L. O.; ELMADFA, I.; GROSSKLAUS, R.; MULLER, M.; SCHRENK, D.; WALTER, P.; WEBER, P. Bioactive compounds: definition and assessment of activity. **Nutrition**, v.25, p.1202-1205, 2009.
- BRADFORD, P. G.; AWAD, A. B. Phytosterols as anticancer compounds. **Molecular Nutrition and Food Research**, v.2, p.161-170, 2008.
- CHONGTHAM, N.; BISHT, M. S.; HAORONGBAM, S. Nutritional properties of bamboo shoots: potential and prospects for utilization as a health food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.10, p.153-169, 2011.
- FERREIRA, V. L. P.; AZZINI, A.; DE FIGUERIREDO, I. B.; SALGADO, A. L. B.; BARBIERI, M. K. Evaluation of bamboo shoots for human consumption. **Coletanea do Instituto de Tecnologia de Alimento**, Brasil, v.16, p.23-36, 1995a.
- FERREIRA, V. L. P.; YOTSUYANAGI, K.; CARVALHO, C. R. L. Elimination of cyanogenic compounds from bamboo shoots *Dendrocalamus giganteus* Munro. **Tropical Science**, v.35, p.342-346, 1995b.
- FSANZ – Foods Standards Australia New Zeland. Cyanogenic glycosides in cassava and bamboo shoots: a human health risk assessment. **Tech Rep**, 28, 2004.
- FUJIMURA, M.; IDEGUCHI, M.; MINAMI, Y.; WATANABE, K.; TADERA, K. Amino acid sequence and antimicrobial activity of chitin binding peptides, Pp-AMP 1 and Pp-AMP2, from Japanese bamboo shoots (*Phyllostachyspubescens*). **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, Japan Society for Bioscience, Biotechnology and Agrochemistry, v.69, p.642-645, 2005.
- GONG, J.; WUX.; LU, B.; ZHANG Y. Safety evaluation of polyphenol-rich extract from bamboo shavings. **African Journal of Biotechnology**, v.9, p.77-86, 2010.
- HAQUE, M. R.; BRADBURY, J. H. Total cyanide determination of plants and foods using the picrate and acid hydrolysis Methods. **Food Chemistry**, v.77, p.107-114, 2002.
- HONG, E. J.; JUNG E. M.; LEE, G. S.; KIM, J. Y.; NA, K. J.; PARK, M. J.; KANG, H. Y.; CHOI, K. C.; SEONG, Y. H.; CHOI, I. G. Protective effects of the pyrolyzates derived from bamboo against neuronal damage and haemato aggregation. **Journal Ethnopharmacology**, v.128, p.594-599, 2010.
- JU, Y. H.; CLAUSEN, L. M.; ALLRED, K. F.; ALMADE, A. I.; HELLERICH, W. G. β -Sitosterol, β -sitosterol glucoside, and a mixture of β -sitosterol and β -sitosterol glucoside modulate the growth of estrogen-responsive breast cancer cells *in vitro* and ovariectomized athymic mice. **Journal Nutrition**, v.134, p.1145-51, 2004.
- KIM, N. K.; CHO, S. H.; LEE, S. D.; RYU, J. S.; SHIM, K. H. Functional properties and antimicrobial activity of bamboo (*Phyllostachys*spp.) extracts. **Korean Journal of Postharvest Science Technology**, v.8, p.475-480, 2001.
- KIM, H. J.; LEE, H. O.; MIN, D. B. Effects and prooxidant mechanisms of oxidized α -tocopherol on the oxidative stability of soybean oil. **Journal of Food Science**, v.72, p.777-782, 2007.
- KOZUKUE, E.; KOZUKUE, N.; TSICHIDA, H. Changes in several enzyme activities accompanying the pulp browning of bamboo shoots during storage. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v.68, p.689-693, 1999.
- KRIS-ETHERTON, P. M.; LEFEVRE, M.; BEECHER, G. R.; Gross, M. D.; Keen, C. L.; Etherton, T. D. Bioactive compounds in nutrition and health research methodologies for establishing biological function. **Annual Review of Nutrition**, v.24, p.511-538, 2004.

- KUMBHARE, V.; BHARGAVA, A. Effect of processing on nutritional value of central Indian bamboo shoots. Part 1. **Journal Food Science and Technology**, v.44, p.29-31, 2007.
- LAGARDA, M. J.; GARCIA-LLATAS, G.; FARRE, R. Analysis of phytosterols in foods. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v.41, p.1486-1489, 2006.
- LEHANE, A. M.; SALIBA, K. J. Common dietary flavonoids inhibit the growth of the intra-erythrocytic malarial parasite. **Biomedcentral Research Notes**, v.1, p.26-27, 2008.
- LIESE, W.; KOHL, M. **Bamboo: the plants and its uses**. Dordrecht: Springer. 2015. 356p.
- LIM, J. A.; NA, Y.; BAIK, S. H. Antioxidative activity and nitrite scavenging ability of ethanol extract from phyllostachys bambusoides. **Korean Journal Food Science and Technology**, v.36, p.306-310, 2004.
- LU, B.; WU, X.; SHI, J.; DONG, Y.; ZHANG, Y. Toxicology and safety of antioxidant of bamboo leaves. Toxicology and safety of antioxidant of bamboo leaves. Part 2: developmental toxicity tests in rats with antioxidant of bamboo leaves. **Food Chemistry Toxicology**, v.44, p.739-743, 2006.
- LU, B.; REN, Y.; ZHANG, Y.; GONG, J. Effects of genetic variability, parts and seasons on the sterol content and composition in bamboo shoots. **Food Chemistry**, v.112, p.1016-1021, 2009.
- LU, B. Y.; XIA, D. Z.; HUANG, W.; WU, X.; ZHANG, Y.; YAO, Y. Hypolipidemic effect of bamboo shoot oil (*P. pubescens*) in Sprague-Dawley rats. **Journal of Food Science**, v.75, p.205-211, 2010.
- MADHAB, J. The green gold: under-exploited wealth of north-east India. **Dialogue**, v.5, p.45-52, 2003.
- MALLA, S.; HOBBS, J. E.; SOGAH, E. K. Functional foods, health benefits and health claims. **Athens Journal of Health**, v.1, p.37-46, 2014.
- MANACH, C.; MAZUR, A.; SCALBERT, A. Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases. **Current Opinion in Lipidology**, v.16, p.77-84, 2005.
- MCCANN, S. E.; FREUDENHEIM, J. L.; MARSHALL, J. R.; GRAHAM, S. Risk of ovarian cancer is related to dietary intake of selected nutrients, phytochemicals and food groups. **Journal of Nutrition**, v.133, p.1937-1942, 2003.
- MERIC, J.; ROTTEY, S.; OLAUSSEN, K.; Soria, J. C.; Khayat, D.; Rixe, O.; Spano, J. P. Cyclooxygenase-2 as a target for anticancer drug development. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, v.59, p.51-64, 2006.
- NAZREEN, S.; ALAM, M. S.; HAMID, H.; KAUR, G.; Alam, M. M.; HAIDER, S.; SHAFI, S.; Ali, M. Phytochemical investigation of *Bambusa arundinacea* Retz. **International Journal of Natural Product Science**, v.3, p.1-7, 2011.
- NIRMALA, C.; SHARMA, M. L.; DAVID, E. A comparative study of nutrient components of freshly emerged, fermented and canned bamboo shoots of *Dendrocalamus giganteus* Munro. **The Journal of the American Bamboo Society**, v.2, p.33-39, 2008.
- NIRMALA, C.; BISHT, M. S.; LAISHRAM, M. Bioactive compounds in bamboo shoots: health benefits and prospects for developing functional foods. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p.1425-1431, 2014.
- NIRMALA, C.; BISHT, M. S. Bamboo: a Prospective Ingredient for functional food and nutraceuticals. In: **10th World Bamboo Congress**, 2015, Korea. Disponível em: <<http://www.worldbamboo.net/wbcx/Sessions/ThemeFoodPharmaceuticals/NirmalaC.,M.S.Bisht.pdf>>. Acesso em 12 de novembro de 2015.



- NONGDAM, P; TIKENDRA, L. The nutritional facts of bamboo shoots and their usage as important traditional foods of Northeast India. **International Scholarly Research Notices**, article ID 679073, p. 1-17, 2014.
- OGUNJINMI, A. A.; IJEOMAH, H. M.; AIYELOJA, A. A. Socio-economic importance of bamboo (*Bambusa vulgaris*) in Borgu local government area of Niger state, Nigeria. **Journal of Sustainable Development in Africa**, v.10, p.284-298, 2009.
- OSTLUND, R. E. Phytosterols, cholesterol absorption and healthy diets. **Lipids**, v.42, p.41-45, 2007. doi:10.1007/s11745-006-3001-9.
- PARK, H. S.; LIM, J. H.; KIM, H. J.; Choi, H. J.; Lee, I.-S. Antioxidant flavones glycosides from the leaves of *Sasa borealis*. **Archives of Pharmacal Research**, v.30, p.161-166, 2007.
- PARK, E. J.; JHON, D. Y. Effects of bamboo shoot consumption on lipid profiles and bowel function in healthy young women. **Nutrition**, v.25, p.723-728, 2009.
- PARK, E. J.; JHON, D. Y. The antioxidant, angiotensin converting enzyme inhibition activity, and phenolic compounds of bamboo shoot extracts. **Food Science and Technology**, v.43, p.655-659, 2010.
- PRAMOD, G. N. P.; CHANDRAKANT, H. V.; ANNIE, J. V.; MANJUNATHA, B.; BALARAJ, B. M.; SUDHARSHAN MURTHY, K. A. Bamboo shoot – is it edible or poisonous? **Journal of Indian Society of Toxicology**, v.7, p.19-21, 2011.
- PUUPPONEN-PIMI, A. R.; NOHYNEK, L.; HARTMANN-SCHMIDLIN, S. Berry phenolics selectively inhibit growth of intestinal pathogens. **Journal of Applied Microbiology**, v.98, p.991-1000, 2005.
- QUITAIN, A.; KATOH, S.; MORIYOSHI, T. Isolation of antimicrobials and antioxidants from moso-bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) by supercritical CO₂ extraction and subsequent hydrothermal treatment of the residues. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v.43, p.1056-1060, 2004.
- RANA, B.; AWASTHI, P.; KUMBHAR, B. K. Optimization of processing conditions for cyanide content reduction in fresh bamboo shoot during NaCl treatment by response surface methodology. **Journal of Food Science and Technology**, v.49, p.103-109, 2012.
- RODRIGUEZ, E. B.; MAXIMA, E. F.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; AMAYA-FARFAN, J. Phytochemicals and functional foods. Current situation and prospect for developing countries. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Unicamp, São Paulo, Brasil, v.13, p.1-22, 2006.
- SANGEETHA, R., DIEA, Y. K. T.; CHAITRA, C.; MALVI, P. G.; SHINOMOL, G. K. The amazing bamboo: a review on its medicinal and pharmacological potential. **Indian Journal of Nutrition**, v.2, p.106, 2015.
- SASTRY, C. B. A 2020 vision for bamboos in India: opportunities and challenges. In: **Proceedings of International Conference Improvement of Bamboo Productivity and Marketing for Sustainable Livelihood**, 2008, 15-17 April, p. 6-15.
- SHARMA, M. L.; NIRMALA, C.; RICH, A.; DAVID, E. Variations in nutrient and nutritional components of juvenile bamboo shoots. **Panjab University Research Journal**, v.54, p.101-104, 2004.
- VINSON, J.; HAO, Y.; SU, X.; SUBIK, L. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: vegetables. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.46, p.3630-3634, 1998.
- WANG, H. X.; NG, T. B. Dendrocin, a distinctive anti-fungal protein from bamboo shoots. **Biochem Biophys Research Communications**, v.307, p.750-755, 2003.

- WOYENGO, T. A.; RAMPRASATH, V. R.; JONES, P. J, H. Anticancer effects of phytosterols. **European Journal of Clinical Medicine**, v.63, p.813-820, 2009.
- XU, S.; CAO, W.; SONG, Y.; FANG, L. Analysis and evaluation of protein and amino acid nutritional components of different species of bamboo shoots. **Food Science**, v.26, p.222-227, 2005.
- YAKUBU, M. T.; BUKOYE, B. B. Abortifacient potentials of the aqueous extract of *Bambusa vulgaris* leaves in pregnant Dutch rabbits. **Contraception**, v.80, p.308-313, 2009.
- ZHANG, Y.; YAO, X. B.; BAO, B. L., ZHANG Y. Anti-fatigue activity of a triterpenoid-rich extract from Chinese bamboo shavings (*Caulis bambusae in taeniam*). **Phytotherapy Research**, v.20, p.872-876, 2006.
- ZHANG, J.; JI, R.; HU, Y.; CHEN, J.; YE, X. Effect of three cooking methods on nutrient components and antioxidant capacities of bamboo shoot (*Phyllostachys praecox*). **Journal of Zhejiang University SCIENCE B. Biomedicine & Biotechnology**, v.12, p.752-759, 2011.



Contabilidade ambiental da produção de brotos de bambu no Brasil: comparação com outros alimentos



Silvia H. Bonilla⁽¹⁾, Rodrigo L. Guarnetti⁽²⁾ e Biagio F. Giannetti⁽¹⁾

⁽¹⁾ Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Paulista. R. Dr. Bacelar, 1212, 04026-002, São Paulo, Brasil. E-mails: bonilla@unip.br e biafgian@unip.br

⁽²⁾ Faculdade Iteana de Botucatu - Engenharia de Produção. Av. Alcides Cagliari, 2.601, 18606-855, Botucatu, Brasil. E-mail: rguarnetti@ite.edu.br

Resumo – Este trabalho apresenta a contabilidade em energia da produção de brotos de bambu. Os resultados são comparados com foco no desempenho ambiental entre alimentos tradicionais da culinária brasileira, como tomate, feijão verde, repolho e batata. A metodologia permite a construção de indicadores quantitativos de sustentabilidade visando auxiliar na tomada de decisão. A contabilidade em energia quantifica todos os recursos globais, naturais e pagos usados direta e indiretamente na produção e os expressa numa moeda comum (joule de energia solar, sej). São contabilizados os recursos renováveis, não renováveis e pagos necessários à produção de dois cultivos do broto de bambu: irrigado e sem irrigação. Batata, tomate, repolho e feijão verde foram comparados em termos de energia investida por nutriente. O broto sem irrigação é o segundo colocado em energia por massa de proteína e o terceiro por massa de carboidrato. Os indicadores em energia da produção de brotos apresentam desempenho ambiental superior ao de outros alimentos. Apenas o broto de bambu irrigado opera na faixa de sustentabilidade ambiental de acordo com a metodologia. A ferramenta mostrou-se útil para propor intervenções com o intuito de melhorar o desempenho ambiental.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BROTOS, ENERGIA, SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL, VALOR NUTRICIONAL, ALIMENTOS.

Environmental accounting of bamboo shoot production in Brazil: comparison with other foods

Abstract – *This study evaluates the emergy-based environmental accounting of the production of bamboo shoot. Results are compared in terms of environmental performance among other Brazilian traditional foods, such as potato, tomato, cabbage and green beans. This methodology allows the construction of quantitative sustainability indicators that can assist in decision-making. Environmental accounting based on emergy evaluates and quantifies global resources, natural and purchased, directly and indirectly used in the production of a good or process. All the resources - renewable, non-renewable and purchased - needed for the production of two bamboo shoot crops (irrigated and non-irrigated), are quantified. Potato, tomato, cabbage and green beans were compared in terms of emergy per nutrient. Bamboo shoot produced without irrigation was the second best ranked in emergy per gram of protein, and the third ranked per gram of carbohydrate. Emergy indicators calculated for the bamboo shoots show better environmental performance when compared with the other foods. Bamboo shoot production under irrigation is the only crop under study that operates under environmental sustainable conditions, according to the methodology. The methodology was useful to show possible interventions with the purpose of improving environmental performance.*

INDEX TERMS: BAMBOO SHOOT, EMERGY, ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, NUTRITIONAL VALUE, FOODS.

Introdução

Os ecossistemas agrícolas são sistemas naturais modificados pela ação do homem, com o objetivo de produzir bens e serviços que gerem benefícios ao ser humano, dentre eles, alimentos. A modificação ocorre por meio da adição de insumos externos, tipo de manejo e mão de obra, e tem como principal consequência a pressão sobre o meio ambiente, tendo em vista o uso intensivo dos recursos naturais e a emissão de gases poluentes. Esse cenário é determinante para a tomada de consciência e a busca por uma produção de alimentos “mais sustentáveis”.

O uso de bambu como matéria-prima, sobretudo quando empregado na construção civil, tem se mostrado promissor no que diz respeito à sustentabilidade, mensurada em termos de ACV e uso da terra (Vogtländer et al., 2010). Contudo, ainda há carência na literatura de estudos centrados na sustentabilidade do bambu como alimento. O broto de bambu, embora menos conhecido no Ocidente, oferece valor nutricional comparável a alimentos como a batata, tomate, repolho e feijão verde, amplamente consumidos no mundo todo.

A adoção de indicadores para quantificar e comparar o desempenho ambiental dos ecossistemas agrícolas na produção de alimentos apresenta-se como uma ferramenta necessária na tomada de decisões.

A contabilidade ambiental em emergia solar (Odum, 1996) tem-se mostrado útil na avaliação de sistemas de produção em termos de desempenho, principalmente quando considerado o emprego de recursos globais. Esse é o caso dos sistemas agrícolas produtores de alimentos que operam na interface meio ambiente e economia. A contabilidade em emergia quantifica as entradas dos recursos naturais e os procedentes da economia usando uma unidade comum, o joule de energia solar (sej). Cada entrada ou recurso que atravessa os limites do sistema considerado não é somente quantificado, mas também classificado de acordo com suas características. A metodologia permite também o emprego de indicadores: Índice de Rendimento em Emergia, Carga Ambiental e Sustentabilidade em Emergia.

Diversos pesquisadores, em diferentes países, empregaram a emergia em seus trabalhos. Lagerberg e Brown (1999), por exemplo, aplicaram-na para avaliar a produção de tomates na Suécia, estudando alternativas mais sustentáveis por meio de mudanças no combustível empregado na estufa. Na Nicarágua, por sua vez, foram avaliadas, em termos econômicos, de emergia e de pegada ecológica, diferentes produções – entre elas uma de tomate e outra de repolho – observando-se discrepâncias entre os resultados das diferentes abordagens (Cuadra & Björklund, 2007). Um estudo bem documentado de desempenho ambiental em emergia para a produção de vários tipos de alimentos (incluindo tomate, repolho, batata e feijão verde) é o de Brandt-Williams (2002), no qual foram calculados os indicadores em emergia.

A metodologia em emergia, sistema que envolve recursos do meio ambiente e da economia, também foi empregada para avaliar a sustentabilidade do cultivo de bambu com manejo de produção de colmos no Brasil, na China e na Austrália (Bonilla et al., 2010).

O objetivo do presente trabalho é realizar a contabilidade ambiental em emergia do cultivo de brotos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Para tanto foram considerados e quantificados os recursos – naturais e com-



prados – empregados na plantação durante o manejo, sendo os resultados do desempenho ambiental (na forma de indicadores) comparados com alimentos semelhantes na composição nutricional.

Com o intuito de melhorar o desempenho ambiental, são propostas algumas intervenções, a partir dos resultados da metodologia em emergia.

Material e métodos

CONTABILIDADE AMBIENTAL EM EMERGIA - Desenvolvida nas últimas cinco décadas, a metodologia de contabilidade ambiental em emergia solar é utilizada para contabilizar a convergência dos recursos globais nos sistemas produtivos, auxiliando na tomada de decisão (Odum, 1996). Resumidamente, a emergia é definida como a energia solar, disponível direta e indiretamente, necessária para gerar um produto ou serviço. Os fluxos são expressos em joules de energia solar (sej). A transformidade de um processo ou produto é a emergia requerida para gerar um joule de serviço ou produto, e sua unidade é joule de energia solar por joule (seJ/J). A transformidade pode ser considerada desde um ponto de vista operacional como um “fator de transformação” que permite transformar em emergia as entradas expressas em energia.

As entradas de um sistema classificam-se em duas categorias: recursos gratuitos e recursos pagos. Dentre os gratuitos, provenientes da geobiosfera, há recursos renováveis (R), como sol, vento e chuva, e não renováveis (N), usados além da sua capacidade de renovação na janela de tempo do estudo (água de poço, por exemplo, cujo tempo de renovabilidade natural excede a janela do estudo). Os recursos pagos (F), por sua vez, são fluxos que vêm da economia e incluem materiais e serviços.

A elaboração do diagrama de energia visa identificar (e classificar) os insumos e os componentes do sistema. Para isso definem-se os limites do sistema, determinam-se as fontes externas de recursos e, por fim, analisam-se em detalhes as interações entre os elementos que compõem o sistema e os recursos empregados.

A simbologia empregada foi desenvolvida pelo autor da metodologia (Odum, 1996), e será explicada brevemente quando for apresentado o diagrama do sistema em estudo. Uma tabela de cálculo que contém todos os fluxos de entrada inventariados é elaborada. Esses fluxos, por serem de variada natureza, estão expressos em grandezas diferentes (massa, energia, dinheiro, horas de trabalho humano). Para converter todas as entradas em fluxos em emergia devem-se multiplicar as entradas pelos respectivos fatores de trans-

formação, colocados em outra coluna. Dessa forma, para um fluxo de entrada expresso em energia deve ser usada a transformidade; se estiver expresso em outras unidades, multiplica-se por seu correspondente valor de energia/unidade. Os valores de transformidade ou energia/unidade são selecionados da literatura. A seguir a tabela 1 mostra os valores de transformidade e/ou energia/unidade selecionados da literatura. Cabe ressaltar que a seleção dos valores de transformidade e/ou energia/unidade requer um critério cuidadoso, já que depende do processo que gerou o produto ou serviço. Assim, a escolha do fator de transformação deve levar em consideração que o processo seja o mesmo ou comparável àquele que gerou o recurso considerado.

Tabela 1. Valores de energia/unidade empregados no trabalho

Item	Unidade	Energia por Unidade (sej/unid.)	Referência
Sol	J	1	Odum, 1996
Vento	J	1,5E+03	Odum, 1996
Chuva - energia física (gravidade)	J	1,05E+04	Odum, 1996
Chuva - potencial químico	J	1,82E+04	Odum, 1996
Calor geotérmico - áreas estáveis	J	3,44E+04	Odum, 1996
Diesel e lubrificante	J	6,60E+04	Odum, 1996
Erosão do solo	J	7,40E+04	Odum, 1996
Energia elétrica (diversos processos)	J	1,74E+05	Odum, 1996
Água de rio	g	3,23E+05	Buenfil, 2001
Mão de obra no Brasil	J	4,18E+06	Bonilla et al., 2010
Calcário	g	1,00E+09	Odum, 1996
Fertilizante potássico	g	2,96E+09	Brown & Arding, 1991
Aço	g	3,00E+09	Odum & Odum, 1983
Motores e bombas	g	4,00E+09	Geber & Bjorklund, 2001
Fertilizante nitrogenado	g	4,21E+09	Brown & Arding, 1991
Plástico	g	5,85E+09	Brown & Buranakarn, 2003
Fertilizante fosfatado	g	6,88E+09	Brown & Arding, 1991

INDICADORES EM ENERGIA - A metodologia define indicadores em energia que permitem avaliar os processos considerando a quantidade e a distribuição dos recursos globais R, N e F utilizados. Foram utilizados os seguintes indicadores neste trabalho: Rendimento em Energia (EYR), Carga Ambiental (ELR) e Sustentabilidade em Energia (ESI).

O EYR é a relação entre a energia do produto e a energia vinda de recursos da economia. Esse índice reflete a habilidade do processo de utilizar recursos locais (renováveis e não renováveis), mas não diferencia esses recursos (Odum, 1996). Equação 1:

$$\text{EYR} = \frac{\text{R+N+F}}{\text{F}} \quad (1)$$

O ELR está relacionado com a carga ambiental que o sistema produtivo impõe sobre o meio ambiente, pois o índice é composto da relação entre os investimentos locais renováveis e aqueles não renováveis e que provêm da economia (N e F). Equação 2:

$$\text{ELR} = \frac{\text{N+F}}{\text{R}} \quad (2)$$

O ESI foi desenvolvido por Ulgiati e Brown (1998). É obtido da relação entre EYR e ELR. O conceito de sustentabilidade está atrelado à maximização de rendimento e à minimização de carga ambiental, ou seja, o máximo do aproveitamento do investimento com um mínimo de estresse dos recursos ambientais locais. Equação 3:

$$\text{ESI} = \frac{\text{EYR}}{\text{ELR}} \quad (3)$$

INTRODUÇÃO AO SISTEMA EM ESTUDO: BAMBU GIGANTE E A PRODUÇÃO DE

BROTOS - Devido à inexistência de produtores de broto em escala comercial no Brasil, o inventário que relaciona os insumos foi adaptado de uma plantação de diversas espécies prioritárias de bambu na Área Experimental Agrícola do Departamento de Engenharia Mecânica da Unesp, na cidade de Bauru (SP), que abrange aproximadamente 2.500 m². Coordenado pelo Prof. Dr. Marco Antônio dos Reis Pereira, o projeto teve início em 1990, com o objetivo de estudar o cultivo, o processamento do bambu e sua utilização na forma de madeira laminada (Pereira, 2006). Considera-se espécie *Dendrocalamus giganteus*, com espaçamento de 7x7m entre as moitas. A produtividade dos brotos sem irrigação é de 10 ton/ha + 600 colmos; a dos brotos irrigados é de 15 ton/ha ano + 800 colmos.

A plantação comercial de broto de bambu é considerada perene, atravessando uma fase de implantação que dura sete anos. A partir do oitavo ano a produtividade e o investimento tendem a se estabilizar. Os insumos da fase de implantação foram inclusos nos cálculos.

O manejo consiste em cortar o broto com 30 a 40 cm, assim que ele interrompe seu crescimento inicial, que pode durar de 10 a 15 dias. Depois dessa fase, o broto irá crescer e se tornar muito fibroso e, portanto, inadequado para o consumo humano. A boa produtividade está associada à adubação anual e aos tratos culturais essenciais para esse tipo de manejo. Nesses serviços estão inclusos capina, inspeções visuais, fertilização e colheita. Uma vez que a plantação de Bauru carece desses dados, tais informações foram adaptadas de Cusak (1998). Admitiu-se a vida útil da plantação em 100 anos, adotando o valor médio encontrado em literatura (Singh et al., 2004; Ramanyake & Yakandawala, 1998; Cusak, 1998; Janzen, 1976).

ORIGEM E TRATAMENTO DOS DADOS - Os valores que representam as entradas da produção provêm de um inventário. Os dados relativos às características da plantação, fertilizante, calcário e produtividade foram obtidos de visitas a campo e entrevistas com o Prof. Marco Pereira. A taxa de erosão foi obtida da literatura (Bertoni & Lombardi, 1999), considerando a matéria orgânica perdida no solo. Os dados referentes às entradas de recursos renováveis para a localização geográfica (insolação solar, pluviometria, velocidade do vento, altitude) foram obtidos em base de dados oficiais.

A energia solar foi calculada a partir da insolação média para essa localização corrigida pelo albedo – razão entre a quantidade de luz que é difundida ou refletida por uma superfície e a quantidade de luz incidente sobre a mesma. A energia solar (expressa em J) é multiplicada na tabela de cálculo pela transformidade do sol – definida como 1 seJ/J pelo autor da metodologia – para dar lugar ao fluxo de energia do recurso. De forma análoga, para obter o fluxo em energia desse recurso multiplica-se a massa da água que foi usada para irrigação pelo fator de transformação expresso em energia/massa.

Os dados sobre serviço humano para as atividades de plantação e colheita foram adaptados de Cusak (1998). A energia da mão de obra foi calculada a partir das horas de trabalho, levando-se em consideração uma energia metabólica diária de $1,26\text{E}7 \text{ J/dia}$ (equivalente a 3000 kcal/dia). Mediante a multiplicação da energia da mão de obra pela transformidade correspondente, obteve-se o fluxo em energia.

O maquinário foi alocado proporcionalmente à razão entre horas trabalhadas e vida útil. Para calcular a energia do maquinário considerou-se a sua massa (de forma simplificada, quantidades de plástico e aço reportadas pelos fabricantes). Plástico e aço foram multiplicados pelos correspondentes fatores de transformação para calcular fluxo em energia. Os fluxos são expressos por hectare de plantação e por ano.

Para minimizar as incertezas que surgem da adoção de transformidades (e valores de energia/unidade) de trabalhos já publicados levou-se em conta produtos e processos iguais ou similares. Para evitar conflitos decorrentes de diferentes critérios dos analistas (Guarnetti et al., 2006) unificaram-se os critérios do presente trabalho e do empregado em Brandt-Williams (2002) para permitir comparação de resultados dos brotos com os outros alimentos.

Resultados e discussão

CONTABILIDADE DOS RECURSOS GLOBAIS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BROTOS DE BAMBU - O diagrama de energia do sistema de cultivo de bambu com manejo voltado à produção de brotos é representado na figura 1. Ele agrega todos os fluxos considerados como entradas, ilustrando a sua dinâmica a partir da simbologia elaborada por Odum (1996). Dessa forma, cada recurso que atravessa o sistema, representado por uma seta, é considerado uma entrada, e seu fluxo é calculado. Os recursos (R) foram colocados à esquerda (sol, vento, chuva) e os demais, em sentido horário, em ordem crescente de transformidades. Na parte interna do sistema, o solo é representado como um estoque não renovável (N) que se consome – como matéria orgânica do solo na erosão e manejo – no decorrer da produção de brotos. A colheita é ilustrada como uma caixa para onde convergem vários fluxos de diferente natureza que interagem para resultar em brotos, como produto principal, e colmos, como subproduto. Para mais detalhes da simbologia ver Odum (1996).

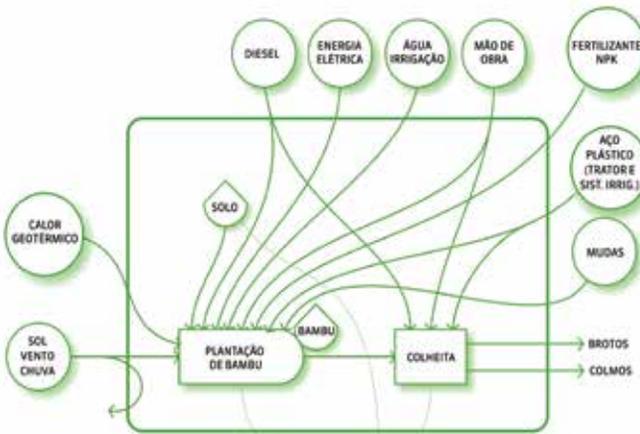


Figura 1. Diagrama de energia do sistema da produção de brotos irrigados de bambu gigante

A tabela 2 mostra o fluxo de energia total que é necessário para sustentar o cultivo do bambu, a colheita dos brotos e o corte dos colmos, ou seja, quantidade de recursos globais que sustenta a produção. A tabela é organizada de acordo com três etapas: cultivo do bambu, colheita de brotos e corte dos colmos. Em cada etapa são listadas as entradas segundo sua classificação em R, N ou F. A tabela mostra os resultados para o sistema de cultivo de bambu irrigado com água de rio com manejo voltado à produção de brotos.

Tabela 2. Fluxos em energia de todos os recursos que suportam a produção e colheita de brotos irrigados de bambu gigante, expressos em sej por ano e por hectare

Item	Descrição	Unid.	Valor (unid./ha ano)	Energia/unid. (sej/unid.)	Energia (sej/ha ano)	% (sej/sej)
(a) Cultivo						
Renováveis (R)						
1	Energia solar	J	5,53E+13	1,00E+00	5,53E+13	-
2	Energia cinética do vento	J	2,45E+09	1,50E+03	3,68E+12	-
3	Energia geopotencial da chuva	J	7,64E+08	1,05E+04	8,02E+12	-
4	Energia química da chuva	J	6,42E+10	1,82E+04	1,17E+15	9
5	Calor geotérmico	J	1,00E+10	3,44E+04	3,44E+14	3
6	Água de irrigação	g	1,35E+10	3,23E+05	4,36E+15	35
7	Renováveis - implantação				3,69E+14	3
Subtotal (soma de 4,5,6 e 7). Excluídos os itens de 1 a 3 para evitar dupla contagem					6,24E+15	50
Não-Renováveis (N)						
8	Uso do Solo	J	4,52E+06	7,40E+04	3,34E+11	<1
9	Não renováveis - implantação				2,34E+10	<1
Subtotal (soma de 8 e 9)					3,58E+11	<1
Pagos (F)						
Sistema de irrigação						
10	Mão de obra (instalação do sistema de irrigação)	J	6,30E+06	4,18E+06	2,63E+13	<1
11	Energia elétrica (bomba)	J	1,00E+10	1,74E+05	1,74E+15	14
12	Plástico (irrigadores, válvulas e tubulação)	g	2,32E+03	5,85E+09	1,36E+13	<1
13	Bomba	g	8,00E+03	4,30E+09	3,44E+13	<1
14	Fertilizante:					
	Nitrogênio	g	6,70E+04	4,21E+09	2,82E+14	2
	Fosfato	g	1,70E+04	6,88E+09	1,17E+14	1
	Potássio	g	6,70E+04	2,96E+09	1,98E+14	2

Continua

Item	Descrição	Unid.	Valor (unid./ha ano)	Energia/unid. (sej/unid.)	Energia (sej/ha ano)	% (sej/sej)
15	Calcário	g	4,50E+05	1,00E+09	4,50E+14	4
16	Maquinário agrícola:					
	Aço	g	4,51E+03	3,00E+09	1,35E+13	<1
	Plástico	g	8,80E+02	5,85E+09	5,15E+12	<1
17	Diesel	J	4,08E+09	6,60E+04	2,69E+14	2
18	Mão de obra (cultivo)	J	2,90E+08	4,18E+06	1,21E+15	10
19	Pagos – implantação				4,19E+14	3
	Subtotal (soma de 10 a 19)				4,78E+15	38
	Energia no cultivo				1,10E+16	89
	(b) Colheita de Brotos					
	Pagos (F)					
20	Maquinário agrícola:					
	Aço	g	4,51E+03	3,00E+09	1,35E+13	<1
	Plástico	g	8,80E+02	5,85E+09	5,15E+12	<1
21	Diesel	J	4,08E+09	6,60E+04	2,69E+14	2
22	Mão de obra (colheita de brotos)	J	1,26E+08	4,18E+06	5,27E+14	4
	Subtotal (soma de 20 a 22)				8,15E+14	7
	Energia na colheita de brotos				8,15E+14	
	(c) Colheita de colmos					
	pagos (F)					
23	Maquinário Agrícola:					
	Aço	g	4,51E+03	3,00E+09	1,35E+13	<1
	Plástico	g	8,80E+02	5,85E+09	5,15E+12	<1
24	Diesel	J	4,08E+09	6,60E+04	2,69E+14	2
25	Mão de obra (colheita de colmos)	J	7,14E+07	4,18E+06	2,98E+14	2
	Subtotal (soma de 23 a 25)				5,86E+14	5
	Energia Total (cultivo + colheitas)				1,24E+16	100
	Produção					
26	Brotos	g/ha	1,50E+07	8,28E+08	1,24E+16	
27	Colmos	Colmos	8,00E+02	1,55E+13	1,24E+16	

Por possuir uma importante interface com o meio ambiente, os sistemas agrícolas apresentam um perfil característico quanto ao uso de recursos globais, empregando uma percentagem significativa de recursos de tipo R (Bonilla et al., 2010). Esses sistemas dependem fortemente dos recursos naturais e nesse caso a parcela R corresponde aos 50% (sej/sej) do fluxo total. É importante ressaltar que a água de irrigação foi considerada um recurso renovável – o que não é sempre possível e dependerá do manejo da bacia onde se loca-

liza o sistema. O segundo recurso R em importância após a água de irrigação é a água de chuva. A outra metade dos recursos globais corresponde a recursos pagos ou vindos da economia, distribuídos entre cultivo e colheita. As maiores contribuições dentre esses fluxos correspondem à energia elétrica da bomba de captação de água e à mão de obra usada para cultivo e colheita.

Os cálculos mostram que são necessários $1,24E+16$ sej/ha ano para sustentar a produção e colheita anual de 15 ton/ha e 800 colmos. O valor de energia específica, ou seja, a energia para cada grama de broto, é de $8,28E+08$ sej/g.

A tabela 3 mostra os resultados para produção de bambu sem irrigação com manejo voltado à produção de brotos. A produção é de 10 ton/ha e de 600 colmos, com um suporte de recursos globais de $6,15E+15$ sej/ha ano, metade do valor em energia da produção irrigada.

Tabela 3. Fluxos em energia de todos os recursos que suportam a produção e colheita de brotos a partir do cultivo de bambu gigante sem irrigação, expressos em sej por ano e por hectare

Item	Descrição	Unid.	Valor (unid./ha ano)	Energia/unid. (sej/unid.)	Energia (sej/ha ano)	% (sej/sej)
	(a) Cultivo					
	Renováveis (R)					
1	Energia solar	J	5,53E+13	1,00E+00	5,53E+13	-
2	Energia cinética do vento	J	2,45E+09	1,50E+03	3,68E+12	-
3	Energia geopotencial da chuva	J	7,64E+08	1,05E+04	8,02E+12	-
4	Energia química da chuva	J	6,42E+10	1,82E+04	1,17E+15	19
5	Calor geotérmico	J	1,00E+10	3,44E+04	3,44E+14	6
6	Renováveis - implantação				2,69E+14	4
	Subtotal (soma de 4,5,6 e 7). Excluídos os itens de 1 a 3 para evitar dupla contagem				1,78E+15	29
	Não-Renováveis (N)					
7	Uso do solo	J	4,52E+06	7,40E+04	3,34E+11	<1
8	Não renováveis – implantação				2,34E+10	<1
	Subtotal (soma de 8 e 9)				3,58E+11	<1
	Pagos (F)					
9	Fertilizante:					
	Nitrogênio	g	6,70E+04	4,21E+09	2,82E+14	5
	Fosfato	g	1,70E+04	6,88E+09	1,17E+14	2
	Potássio	g	6,70E+04	2,96E+09	1,98E+14	3
10	Calcário	g	4,50E+05	1,00E+09	4,50E+14	7

Continua

Item	Descrição	Unid.	Valor (unid./ha ano)	Energia/ unid. (sej/unid.)	Energia (sej/ha ano)	% (sej/sej)
11	Maquinário agrícola:					
	Aço	g	4,51E+03	3,00E+09	1,35E+13	<1
	Plástico	g	8,80E+02	5,85E+09	5,15E+12	<1
12	Diesel	J	4,08E+09	6,60E+04	2,69E+14	4
13	Mão de obra (cultivo)	J	2,90E+08	4,18E+06	1,21E+15	20
14	Pagos – implantação				4,19E+14	7
	Subtotal (soma de 19 a 14)				2,97E+15	48
	Energia no cultivo				4,75E+15	77
	(b) Colheita de brotos					
	Pagos (F)					
15	Maquinário agrícola:					
	Aço	g	4,51E+03	3,00E+09	1,35E+13	<1
	Plástico	g	8,80E+02	5,85E+09	5,15E+12	<1
16	Diesel	J	4,08E+09	6,60E+04	2,69E+14	4
17	Mão de obra (colheita de brotos)	J	1,26E+08	4,18E+06	5,27E+14	9
	Subtotal (soma de 15 a 17)				8,15E+14	13
	(c) Colheita de colmos					
	Pagos (F)					
18	Maquinário agrícola:					
	Aço	g	4,51E+03	3,00E+09	1,35E+13	<1
	Plástico	g	8,80E+02	5,85E+09	5,15E+12	<1
19	Diesel	J	4,08E+09	6,60E+04	2,69E+14	4%
20	Mão de obra (colheita de colmos)	J	7,14E+07	4,18E+06	2,98E+14	5
	Subtotal (soma de 18 a 20)				5,86E+14	10
	Energia Total (cultivo + colheitas)				6,15E+15	100
	Produção					
21	Brotos	g	1,00E+07	6,15E+08	6,15E+15	
22	Colmos	colmo	6,00E+02	1,02E+13	6,15E+15	

Nos brotos não irrigados a distribuição de recursos apresenta outro perfil percentual: os recursos R representam apenas 29% (sej/sej), com a entrada correspondente à chuva como a principal parcela, seguida do calor geotérmico. O restante corresponde ao fluxo dos recursos tipo F (os fluxos tipo N são muito baixos), sendo a mão de obra o maior recurso contabilizado em energia, seguido de diesel. O valor de energia específica é de $6,15E+08$ sej/g, que corresponde a $3/4$ dos recursos globais calculados para produzir um grama de broto irrigado.

Os valores de energia específica calculados, assim como a distribuição dos recursos R, N e F no fluxo da energia total, podem ser comparados com os de outros alimentos semelhantes nutricionalmente e já estabelecidos no cardápio brasileiro.

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO BROTO DE BAMBU COM OUTROS ALIMENTOS - Embora o broto de bambu seja amplamente consumido no continente asiático, sua presença não é tão comum no cardápio dos países ocidentais. Entretanto, além de versátil, ele possui propriedades nutricionais comparáveis com alimentos usados cotidianamente no cardápio brasileiro. A tabela 4 mostra a comparação do broto de bambu e de outros alimentos considerando conteúdo de água, carboidratos, fibras, proteínas e calorias. O broto é comparável no seu conteúdo de água com todos os outros, exceto a batata; no que diz respeito a carboidratos, ele é semelhante ao repolho. Além disso, o broto é mais rico em proteínas e menos calórico que os outros alimentos da tabela.

Tabela 4. Composição nutricional dos alimentos. Valor de referência: 100g

Alimento	Água	Carboidratos	Fibras	Energia (kcal)	Proteínas
Broto de Bambu	91,00	5,20	2,20	27,00	2,60
Batata	83,29	12,44	2,50	58,00	2,57
Feijão Verde	90,27	7,13	3,40	31,00	1,82
Repolho	92,18	5,80	2,50	25,00	1,28
Tomate	94,78	3,18	0,90	16,00	1,16

FONTE: DEPARTAMENTO AGRÍCOLA DOS ESTADOS UNIDOS; DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.NAL.USDA.GOV](http://www.nal.usda.gov)

A figura 2 mostra a comparação dos valores do fluxo de energia dos alimentos analisados para produzir um grama de carboidrato e de proteína. Esses valores foram extraídos de Brandt-Williams (2002) e expressos em energia específica. Para permitir a comparação com o bambu, que foi plantado no Brasil, adotou-se nos outros alimentos o mesmo valor de transformabilidade da mão de obra brasileira.

Quando a comparação realiza-se em função da massa de carboidratos, a batata apresenta o menor valor de recursos globais, seguida do repolho. Em terceiro lugar encontra-se o broto sem irrigação. A batata também é a melhor colocada quando se observa o valor dos recursos globais em termos de um grama de proteína. O broto sem irrigação ocupa o segundo lugar de recursos globais por massa de proteína. Já o feijão verde e o tomate precisam de mais

recursos globais por cada grama de proteína. O broto irrigado ocupa uma posição intermediária.

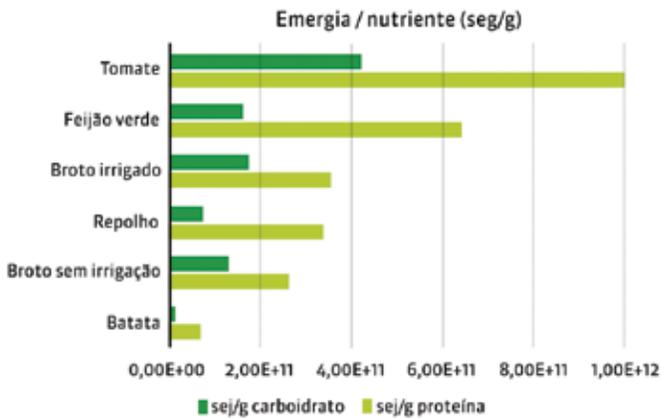


Figura 2. Comparação do valor do fluxo de energia para produzir um grama de carboidrato e de proteína respectivamente para alguns alimentos com composição nutricional semelhante

Do ponto de vista de desempenho ambiental, os brotos de bambu apresentam uma performance comparável à de outros alimentos usados na mesa brasileira.

INDICADORES EM ENERGIA - A figura 3 mostra os valores dos indicadores em energia calculados. O indicador EYR reflete a habilidade de explorar e disponibilizar recursos locais por meio do investimento. A habilidade das produções decresce com a diminuição do valor de EYR, resultando na seguinte ordem: broto irrigado, broto sem irrigação, feijão verde, repolho, batata e tomate.

O indicador ELR quantifica a pressão que o sistema exerce no ambiente. Segundo Brown e Ulgiati (2001), valores menores que 2 indicam baixo impacto; entre 2 e 10, impacto moderado, o que reflete o caso da maioria da produção dos alimentos em estudo (broto sem irrigação, feijão verde, repolho e batata). Já valores maiores do que 10 impõem um grande impacto ao ambiente, como o caso do tomate. No que diz respeito ao ESI, os valores menores refletem uma operação na faixa de não sustentabilidade. Apenas o broto irrigado, justamente devido à elevada proporção de recursos R empregados, atinge valores dentro da região de sustentabilidade em curto prazo. No caso do broto irrigado, o recurso água de rio foi considerado como R,

podendo esse ser critério questionado, já que depende da localização, manejo da bacia, época de estiagem, usos múltiplos dos recursos hídricos etc.

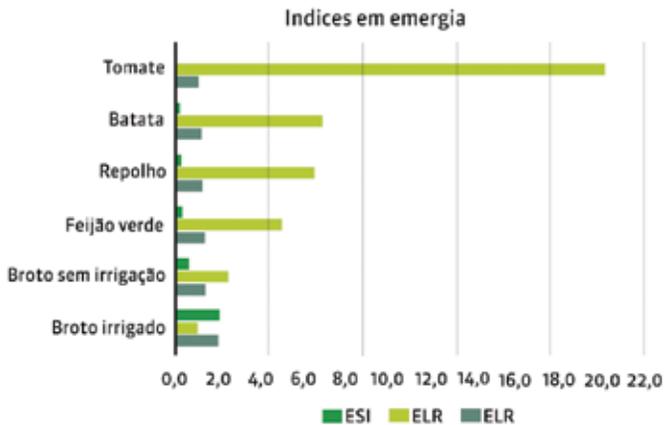


Figura 3. Comparação dos valores de indicadores em energia para vários alimentos: broto irrigado, broto sem irrigação, feijão verde, repolho, batata e tomate

Conclusões

1. A contabilidade ambiental em energia, quando aplicada ao estudo de sistemas agrícolas, apresenta a vantagem de calcular não apenas os recursos provenientes do sistema econômico (como materiais e serviços), mas ainda os recursos ambientais. Dessa forma, é possível aferir também o desempenho do processo em termos de sustentabilidade.
2. O cultivo de broto de bambu sem irrigação, quando comparado com os cultivos da batata, do tomate, do repolho e do feijão verde, apresenta a vantagem de utilizar menos recursos globais. No entanto, quando a produção de brotos é irrigada, a capacidade de renovação do sistema aumenta. Vale lembrar que a água empregada neste estudo foi considerada renovável.
3. Quando comparado ao cultivo de alimentos semelhantes em sua composição nutricional, o broto sem irrigação apresenta melhor desempenho ambiental, considerando energia/massa de proteína e energia/massa de carboidratos como indicadores.

4. Os indicadores em emergia apontam que apenas a produção de brotos irrigados opera na região de sustentabilidade ambiental – mas isso pode se modificar, de acordo com o tipo de água usada para irrigação.
5. Os indicadores são passíveis de melhora caso sejam adotadas medidas de manejo diferentes, a partir da observação dos recursos com maior peso nas tabelas de fluxo de emergia. O uso de biocombustíveis no lugar de diesel, o emprego de fertilizantes orgânicos, adubo orgânico e restos de materiais de outras culturas, ou dejetos de animais, por exemplo, diminuem o consumo de insumos considerados não renováveis e pagos.
6. Espera-se que este estudo auxilie os trabalhos a respeito do bambu e de seu desempenho ambiental, contribuindo para a tomada de decisões e jogando luz sobre a influência das práticas agrícolas no meio ambiente.

Referências

- BERTONI, J.; LOMBARDI F. N. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1999.
- BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal of Cleaner Production**, 18, p.83-91, 2010.
- BRANDT-WILLIAMS; S. I. **Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation in a series of folios**. Folio N°. 4 – Emergy of Florida Agriculture. Gainesville: Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2002.
- BROWN, M.T; ARDING, J. **Transformities working paper**. Gainesville, FL: Center for Wetlands, University of Florida, 1991, Gainesville.
- BROWN, M. T.; BURANAKARN, V. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. **Resources, Conservation and Recycling**, v.38, p.1-22, 2003.
- BROWN M. T.; ULGIATI S. Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments. **Population and Environmental: A Journal of Interdisciplinary Studies**, 22, p.471-501, 2001.
- BUENFIL, A. A. Emergy evaluation of water. Tese de doutorado. Universidade da Florida, EUA, 2001.
- CUADRA, M; BJOKLUND, J. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicaragua. **Ecological Indicators**, v.7(1), p.133-149, 2007.
- CUSACK, V. Bamboo edible shoot and timber plantation – comparative data across species and economic analyses for *Dendrocalamus asper*, bamboo for shoots and timber. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDIC), 1997, Brisbane. **Proceedings of Workshop**. Brisbane: Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDIC), 1998. p.23-34.



- GEBER, U; BJORKLUND, J. The relationship between ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment system-a case study. **Ecological Engineering**, v.18, p.39-59, 2001.
- Guarnetti, R. L.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Agricultural systems studied by the emergetic ternary diagram: influence of the culture type and the environmental analyst's criteria. In: Sustainable Manufacturing - IV Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering, 2006, São Carlos-SP. Proceedings of IV Global Conference on Sustainable Product Development and Life Cycle Engineering. São Carlos: Editora Suprema, 2006.
- JANZEN, D. H. Why bamboos wait so long to flower? **Annual Review of Ecology & Systematics**, v.7, p.347-391, 1976.
- LAGERBERG, C.; BROWN, M. T. Improving agricultural sustainability: the case of Swedish greenhouse tomatoes. **Journal of Cleaner Production**, v.7, p.421-434, 1999.
- ODUM, H. T. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. Nova Iorque: John Wiley & Sons Ltd. 370 p., 1996.
- ODUM, H. T.; ODUM, E. C. **Emergy Analysis Overview of Nations** with sections by Bosch G., Braat L., Dunn W., Innes G. de R., Richardson J. R., Scieceaman D. M., Sendzimir J. P., Smith D. J., Thomas M. V. Working Paper, International Institute of Applied Systems Analysis, Laxenburg, Áustria (WP-83-82), 1983.
- PEREIRA, M. A. R. Proyecto bambú: Manejo y producción del bambú gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado en la Unesp de Bauru/SP/Brazil y determinación de las características físicas de listones laminados. In: Proceedings of the Third Symposium Latin American of Bamboo, Guayaquil (Ecuador), Cd room, 2006. [In Spanish].
- RAMANAYAKE, S. M. S. D.; YAKANDAWALA, K. Incidence of flowering, Death and phenology of development in the giant bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro). **Annals of Botany**, v.82, p.779-785, 1998.
- SINGH, S.; KUMAR, P.; ANSARI, S. A. A simple method for large scale propagation of *Dendrocalamus asper*. **Scientia Horticulturae**, v.100, p.251-255, 2004.
- ULGIATI, S; BROWN, M. T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. **Ecological Modelling**, v.106, p.23-36, 1998.
- VOGTLÄNDER, J.; VAN DER LUGT, P.; BREZEt, H. The sustainability of bamboo products for local and Western European. Applications. LCAs and land-use. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p.1260-1269, 2010.



USOS INDUSTRIAIS



Design sustentável em produtos de bambu

*Walter Franklin M. Correia⁽¹⁾, Fábio F. da Costa Campos⁽¹⁾
e Marina de Lima N. Barros⁽¹⁾*

⁽¹⁾ Departamento de Design, Universidade Federal de Pernambuco, Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, PE – CEP. 50670-901.

E-mails: ergonomia@me.com, fc2005@gmail.com e marinalnbarros@gmail.com

Resumo – A promoção do artesanato como reflexo do patrimônio cultural e da criatividade dos artesãos é um importante caminho estratégico para associar o desenvolvimento econômico – com geração de empregos, negócios e renda – à diversidade cultural de um país. No Brasil, as primeiras atividades desenvolvidas utilizando o bambu como matéria-prima foram oriundas da produção artesanal de peças e ferramentas, além de utensílios e adornos. Nas últimas décadas, em especial, tem-se acompanhado um crescente desenvolvimento econômico desse setor na região Nordeste, onde se busca alternativas de arranjos produtivos bem-sucedidos, como o cultivo de tipos diversificados de espécies de árvores e plantas. Junto com o artesanato, a utilização do bambu como matéria-prima figura como mais uma ferramenta no desenvolvimento cultural da região. Este artigo tem como objetivo apresentar o resultado de um projeto de pesquisa na área de *design* de produtos de bambu, realizado em parceria entre universidade e empresas do estado de Pernambuco, com vistas a fomentar uma cultura de consumo deste tipo de artesanato.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: SUSTENTABILIDADE, ARTESANATO, CULTURA, DESENVOLVIMENTO.



Sustainable design in bamboo products

Abstract – *Promoting handicraft as a reflect of the cultural heritage and creativity of artisans is an important pathway to associate economic development – creating jobs, business and income – to the cultural diversity of a country. In Brazil, the first activities using bamboo as raw material came from the artisanal production of parts and tools, as well as utensils and ornaments. Specially in recent decades, there has been an economic development of this activity in the Northeast region, where there is a search for alternatives of successful clusters, such as the cultivation of diverse types of species of trees and plants. Along with the crafts, the use of bamboo as a raw material appears as one more tool in the cultural development of the region. This article aims to present the results of a research project on bamboo products design, carried out in a partnership between a university and local enterprises from Pernambuco (a Northeastern state) so as to foster a culture of consumption of this kind of handicraft.*

INDEX TERMS: SUSTAINABILITY, HANDICRAFT, CULTURE, DEVELOPMENT

Introdução

O presente artigo, fruto de pesquisa aprofundada na área de *design* e bambu, partiu de uma demanda pelo fortalecimento da Rede Brasileira do Bambu (RBB). O desenvolvimento de produtos diversos por meio da aplicação do bambu e de seus derivados é uma necessidade emergente no cenário nacional e, nesse contexto, o *design* age como moderador, tendo contribuído enormemente para o atendimento dos objetivos da rede e para sua superação.

Nas últimas décadas, tem-se acompanhado um crescente – embora tímido – desenvolvimento econômico da região Nordeste, onde se observa uma busca por alternativas de arranjos produtivos bem-sucedidos, como, por exemplo, o cultivo de tipos diversificados de espécies de árvores e plantas, com o intuito de melhorar os processos produtivos e fomentar o desenvolvimento de novos produtos, além de fortalecer a economia. Nesse contexto, a utilização do bambu como matéria-prima, assim como o artesanato, firmam-se como ferramenta de desenvolvimento cultural (Adamson & López, 2008).

A relevância dessa atividade para a região pode ser demonstrada pelo apoio que a mesma tem recebido do estado, em iniciativas como a criação de um polo de irrigação, a melhoria da infraestrutura, o desenvolvimento de pesquisa agrônômica, os incentivos por meio de crédito subsidiado e a redução de impostos, entre outras ações, como a divulgação por meio da comunicação oficial (Umezawa, 2002).

Conforme apontado por Cardoso (2000), como matéria-prima o bambu é usado há séculos na produção de uma infinidade de artefatos utilitários e decorativos, em habitação ou edificações. Por sua característica tubular, ele agrega funções e adequações inerentes à sua própria forma, a própria forma cilíndrica. Tendo sua composição basicamente feita de longas fibras, pode ser desfiado ou moldado para novas aplicações, como acontece no sul e no sudeste do país, para a formação do *plyboo*, por exemplo.

Como existe uma grande variedade de bambus, é essencial escolher o tipo certo de planta e o modo mais adequado de tratá-la para determinadas aplicações. Para esta pesquisa, trabalhou-se inicialmente o bambu *in natura* (das espécies mais encontradas na região Nordeste) e o *plyboo*, que é o laminado originário da planta.

Com essas duas formas de utilização, o objetivo principal – o de envolver o *design* como ferramenta no desenvolvimento de novos artefatos – foi superado sobremaneira, como mostram alguns dos produtos gerados, que serão citados adiante. Foram alçadas ainda outras metas paralelas, como aprofundar o conhecimento dos setores de produção, cultivo e extração bambu e sobre a cultura de uso deste; conhecer e avaliar o arranjo produtivo de bambu na região; identificar valores humanos, sociais, culturais e antropológicos relacionados ao uso do bambu no Nordeste brasileiro; e elaborar e produzir artefatos com a aplicação direta do bambu, com ou sem utilização de outras matérias-primas. Vale ressaltar, ainda, que a participação efetiva de equipe de trabalho junto à RBB, com projetos na área de artesanato (Campo Grande), prototipagem rápida para confecção de tampas para mudas *in vitro* (São Paulo) etc., vem sendo mantida mesmo após o término da pesquisa aqui relatada.

O trabalho em conjunto com diferentes especialistas permitiu, também, verificar áreas importantes, em Pernambuco e fora dele, onde o bambu é trabalhado de maneira diferenciada. No Nordeste, os maiores expoentes são os grupos João Santos (Portela/PE), Inbambu e Bambuzal (Maceió/AL), Bambu Bahia (Salvador/BA), Cooperativa dos Produtores Art. de Bambu e Papel Ltda (Cajueiro/AL), Bambuzeria e papelaria Zumbi dos Palmares (União dos Palmares/AL), Associação Artesanal dos Produtores de Palitos e Derivados do Bambu (Viçosa/AL).

Particularmente em Pernambuco, o que se encontrou, dentro das limitações da pesquisa, foram algumas cidades onde existem plantações intencionais (cultivadas), como Recife, Caruaru, Gravatá, Timbaúba, Belo Jardim, Garanhuns, Arco Verde, Salgueiro, Petrolina, Vitória de Santo Antão, Bezerros (parte alta), Pesqueira, Custódia, Floresta, Serra Talhada, Cabrobró e Exu. Tais cidades apresentaram plantações e rica utilização do bambu em produtos, em sua maioria artesanais, de pequeno, médio e grande porte (como móveis em geral).

Em Gravatá, particularmente, e Caruaru, há um polo moveleiro extenso, com produtos diferenciados que serviram de referência no desenvolvimento de novos produtos. Ressaltar essas cidades é uma forma de reconhecer o envolvimento de tais municípios com as pesquisas sobre que tipos de produtos devem ser desenvolvidos e que o mercado certamente pode assimilar e adquirir.

Material e métodos

Foram utilizados os *eXtensible Design Methods* (métodos de *design* extensível, ou XDM, na sigla em inglês) para o desenvolvimento dos primeiros artefatos do projeto, tendo o bambu como matéria-prima. Essa metodologia foi desenvolvida dentro da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e propõe uma forma contemporânea para a concepção de artefatos aliada à cibercultura, em “uma nova relação entre as tecnologias e a sociabilidade, configurando a cultura contemporânea” (Lemos, 2004, p. 52).

A metodologia XDM se apropria de métodos tradicionais de *design*, modificando-os à medida que incorpora hábitos da contemporaneidade cibernética em sua execução. Seguindo essa metodologia, observada em Neves (2008), por meio de cards em conjunto com os investigadores do departamento de *Design*, junto ao LACAI – Laboratório de Concepção e Análise de Artefatos Inteligentes, foram elaboradas previamente cartas de referência, com artefatos que utilizam bambu englobando toda a sua diversidade de formas e aplicações, sob a orientação do professor André Neves, responsável pela metodologia, e pelo coordenador do projeto, para acompanhamento e futuras observações. Concluídas as cartas, a metodologia foi aplicada, em seu formato virtual, para o desenvolvimento de dois artefatos.

Em relação ao *design*, destacaram-se quatro etapas básicas do processo de criação: (i) Problematização, (ii) Geração e Seleção, (iii) Desenvolvimento, e (iv) Prototipação. Estas foram aplicadas adequadamente, dentro do que

se pretendia desenvolver como artefatos de *design*. O primeiro artefato desenvolvido foi um brinquedo educacional infantil, com ênfase em equações matemáticas básicas. O período de trabalho total foi de três horas e quarenta e nove minutos, dividido entre ambiente de trabalho e domicílio, com pausas. A presença de muitas crianças nas cartas caracterizadas como “personas” facilitou a utilização da metodologia. As bolsistas encontraram dificuldade no desenvolvimento por não conhecer a fundo o público-alvo e suas necessidades, principalmente educacionais, além de desconhecem as diferenças regionais que influenciam na escolha final de um artefato.

O segundo artefato foi um suporte para churrasqueira de uso doméstico. O período de desenvolvimento foi de três horas e quinze minutos, exclusivamente em ambiente de trabalho, com pequenas pausas. Durante o processo, houve fuga da metodologia, para uma maior e melhor visualização de artefatos referência, pois não existia acervo visual dentro do nicho escolhido (churrasqueira). Poucas das cartas presentes foram de fato utilizadas e as que foram aplicadas precisaram ser modificadas de alguma forma. Por isso, realizou-se uma pesquisa com pessoas que têm o hábito de utilizar a churrasqueira.

Com relação à pesquisa de campo, para aplicação da metodologia foram definidos dois públicos-alvos, a fim de desenvolver um produto para cada grupo, sendo um público de classe média e outro de classe mais alta.

Resultados e discussão

A literatura nacional sobre o trato e a produção do bambu por meio de processo de transformação para artefatos apresentou-se escassa, porém alguns aspectos foram considerados interessantes, sobretudo acerca da produção de peças de bambu com outros materiais agregados.

De acordo com as pesquisas realizadas, existem vários tipos de resina que podem ser aplicados a determinadas espécies de bambu, sendo consenso entre os pesquisadores que há uma grande falta de conhecimento específico nessa área, visto que a maioria das aplicações realizadas com o bambu é feita de forma intuitiva. Confirmamos a aceitação de resina, principalmente a natural, por parte do bambu, seja em fibras ou no seu estado natural, e também podem ser usados determinados tipos de silicone para auxiliar a fixação de conectores. Como exemplo, citamos a Mitsubishi Motors, que, em fevereiro de 2006, desenvolveu o “plástico verde”: fibra de bambu reforçada com resina natural (Arnal, 2009).



Pesquisas realizadas na Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Bauru demonstram as imensas vantagens do bambu na fabricação de equipamentos ligados à área de saúde – como muletas, andadores, etc. –, sobretudo por ser um material pouco propenso ao desenvolvimento de colônias de bactérias ou fungos. Porém, conforme percebeu-se neste estudo, o processo em si ainda é muito artesanal, o que encarece de acordo com a mão de obra (Bambu brasileiro, 2009).

Em pesquisa de campo no Laboratório de Investigação em *Living Design*, no Recife, foi possível a troca de experiências sobre a matéria-prima em questão, técnicas de manufatura e procedimentos. A parceria formada com IES no Rio de Janeiro, em andamento, irá auxiliar no processo de geração de novos produtos (tendo em vista a continuidade deste, em termos de interdisciplinaridade). As atividades do laboratório são voltadas à experimentação, por meio da criação de modelos em menor escala. Dessa forma, o laboratório não produz móveis específicos, apenas faz uso de desdobramentos para criar estruturas. A metodologia utilizada na criação e desenvolvimento de qualquer estrutura é:

- Conceituação
- Criação e realização de modelos em menor escala
- Desenvolvimento de modelo na escala de protótipo – experimento
- Desenvolvimento de protótipo
- Construção da estrutura final

Em poucos aspectos ainda se está longe do que é feito em centros de excelência fora do estado. Também em nossas atividades, o contexto de aplicação é prioridade em todas as etapas do desenvolvimento, considerando questões como cultura local, clima, contextos de uso, entre outros.

No desenvolvimento dos novos produtos dentro do âmbito da pesquisa, a maior preocupação foi a apresentação de artefatos passíveis de serem desenvolvidos com o uso do bambu, *in natura* ou como matéria-prima processada (*plyboo*).

O primeiro artefato, o brinquedo educacional (figura 1), tem formato de dodecaedro regular. Pode ser utilizado em casa ou no ambiente escolar, de forma individual ou coletiva. O objetivo é encaixar as peças na base, fazendo uma correspondência entre as informações contidas em cada uma. Por exemplo, para um jogo de matemática, o encaixe correto pode ser indicado por uma série de operações matemáticas e seus resultados.

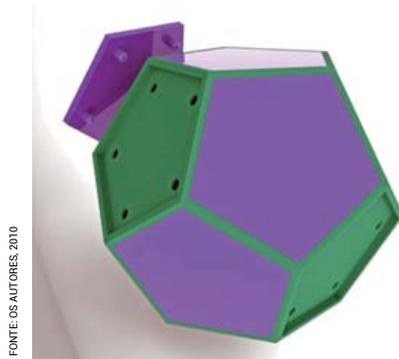


Figura 1. Artefato de brinquedo para jogos lúdicos

Já o segundo artefato, o suporte para churrasqueira (figura 2), é modular e reúne acesso à água e acondicionamento da maioria dos acessórios utilizados na execução de um churrasco, de forma ergonômica e prática.

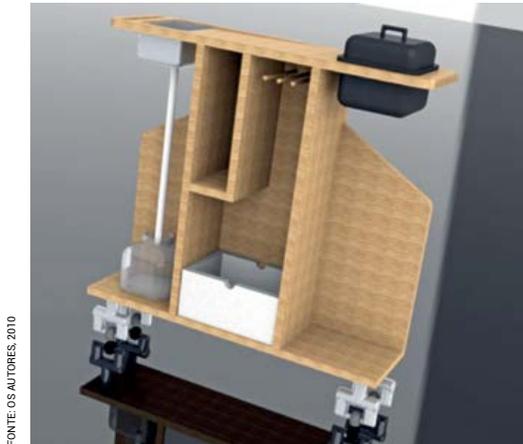


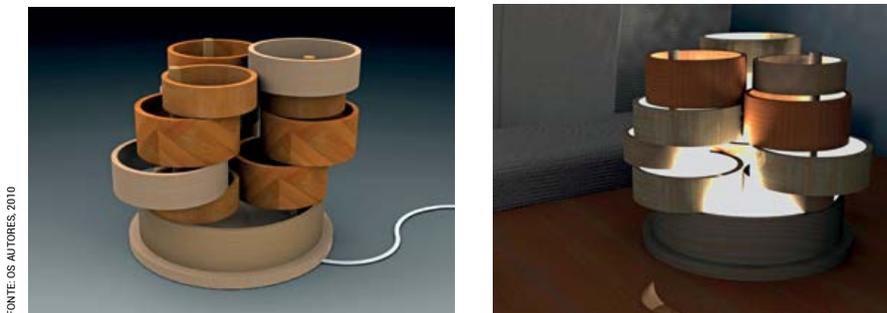
Figura 2. Churrasqueira de bambu

Para um resultado satisfatório, os envolvidos com a metodologia utilizada e citada anteriormente devem ter conhecimento na área a ser trabalhada; caso contrário, o resultado apresenta inconsistência. Isso pôde ser observado no desenvolvimento de ambos os artefatos, nos quais o resultado final não foi satisfatório, fato observado por usuários na pesquisa de campo. Acredita-se, também, que as cartas limitaram o desenvolvimento do produto. O segundo artefato, ao ser apresentado a possíveis usuários, foi rejeitado por questões de usabilidade, e tais informações foram levadas em consideração para o desenvolvimento final do mesmo.

Deve ser ressaltado que a ideia inicial desse processo inicial era ver a aplicabilidade de um método empírico e verificar os resultados *a posteriori*, haja vista que a metodologia convencional de *design* é a mais indicada, como poderá ser visto mais adiante. Deve-se ressaltar que todos os produtos foram gerados via pesquisa empírica, com atores envolvidos no sentido de desenvolver de forma ágil produtos que pudessem ser facilmente trabalhados com elementos de bambu.

Ainda seguindo a lógica de *design*, na qual se tem desde a geração de alternativas até sua prototipação, foram propostos outros artefatos que poderiam ser montados pelos próprios usuários em casa, aproveitando que o bambu pode ser facilmente moldado em sua forma natural. O processo de produção foi determinante no aprimoramento desses projetos, pois a proposta é de artefatos de fácil produção, utilizando ferramentas comuns. As diferentes formas de fixação e armazenagem também foram consideradas.

Nessa linha, o primeiro produto proposto foi uma luminária de mesa (figura 3), produzida com bambu *in natura* e madeira, além dos componentes elétricos. Sua principal característica é a valorização da beleza natural do bambu, sem acabamentos ou uniformidade. Também propusemos um apoio para o colo ou braço de sofá (figura 4), que se adapta à forma da superfície a que for submetido. Ele é produzido com perfis de bambu e o que garante a junção dos perfis é o tecido na parte inferior, que também proporciona um melhor contato com o usuário. Por fim, o terceiro produto foi um painel para foto (figura 5), produzido com bambu *in natura*. O uso idealizado seria em quartos, para fixação de fotografias e lembretes, entre outros. A fixação desses componentes se dá com o auxílio de hastes metálicas, pressionadas nos colmos do bambu, que servirão para afixar ímãs.



FONTE: OS AUTORES, 2010

Figura 3. Luminária de mesa, apagada (à esquerda) e em uso (à direita)

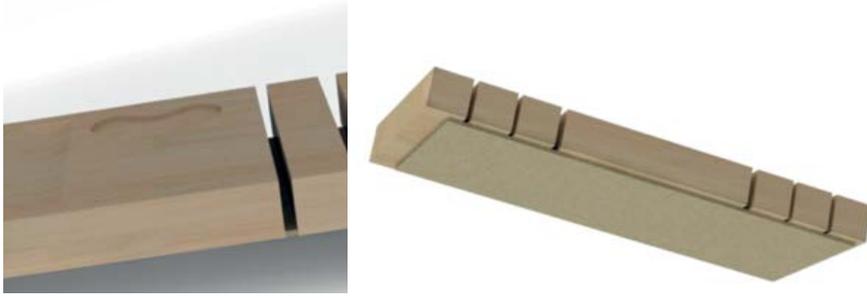


Figura 4. Apoio para colo ou braço de sofá. Detalhe para o encaixe para copos (à esquerda) e para a parte inferior (à direita), com tecido para união dos perfis de bambu



Figura 5. Painel para fotos, produzido em bambu *in natura*

Foram desenvolvidos, também, produtos para uma linha comercial de alto padrão. Nossa inspiração foi a forma de trabalho da Living Interiores, uma empresa de Recife que já utiliza bambu em suas produções, como artigo decorativo. A proposta foi aumentar a participação do bambu nas peças, ressaltando suas características estéticas e mecânicas, além de introduzi-lo em uma cultura de consumo que, tradicionalmente, rejeita tal material.

O principal produto proposto para essa linha foi a Cadeirabana (figura 6), uma cadeira de balanço moderna, resistente e com *design* inovador. Seu conceito busca inverter os valores dados ao aço e ao bambu, em termos de resistência e qualidade, haja vista que não necessariamente uma peça precisa ser de metal para ter alta resistência. Esse produto foi exposto como pôster na categoria pesquisa, no II Seminário do Bambu da RBB, que ocorreu no Acre em 2010.



Figura 6. Cadeirabana: cadeira de balanço em bambu, aço e algodão

Conclusões

1. De fato percebe-se cada vez mais que o bambu é uma fonte viável para a criação de produtos que podem levar em consideração o pleno conceito de sustentabilidade e *ecodesign*, pois seu processo de transformação, da planta ao produto, não polui o meio ambiente como alguns processos encontrados na transformação da madeira.
2. O desenvolvimento deste projeto demonstrou que é possível utilizar essa rica matéria-prima nos mais diversos campos, corroborando a posição da comunidade científica reunida na RBB. Esse tipo de iniciativa certamente impulsionará, no Brasil, uma mudança de comportamento já observada em outros países com relação ao aproveitamento de todo o potencial de consumo do bambu, em produtos populares ou de requinte.
3. Apesar de este trabalho estar finalizado, outros projetos já estão encaminhados junto à RBB, incluindo uma iniciativa para o desenvolvimento integrado de ambiente físico móvel para mudas *in vitro* e o desenvolvimento de

artefatos com *design* diferenciado para populações de baixa renda produzirem. As iniciativas estão detalhadas no relatório final enviado ao CNPq.

Agradecimentos

Ao CNPq e à UFPE, pelo apoio com recursos sem os quais não teria sido possível o projeto.

Referências

- ADAMSON, M.; LÓPEZ, D. (2008). **Socioeconomic study for the bamboo sector in Costa Rica**. INBAR Working n° 38. 2001. In: www.inbar.com.int/publication. Acesso em 15 set. 2008.
- ARNAL, I. P. **A salvação é um rizoma**. [online] Disponível em: <<http://www.casadavizinha.eu>>. Acesso em 07 dez. 2009.
- BAMBU BRASILEIRO. **Info Bambu – Arte e Design**. [online]. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/info/design/index.html>>. Acesso em 14 set. 2009.
- CARDOSO Jr., R. Arquitetura com bambu. Dissertação de Mestrado defendida para a obtenção de título de Mestre em Arquitetura, UFRS, 2000.
- LEMOS, A. **Cibercultura. Tecnologia e vida social na cultura contemporânea**. Porto Alegre: Sulina, 2. Ed., 2004.
- NEVES, A. XDM – Métodos extensíveis de *design*. In: 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em *Design*, 2008, São Paulo. **Anais do 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, 2008.
- UMEZAWA, H. A. Uso do potencial do bambu para o desenvolvimento local sustentável: estudo de caso da Colônia Parque Verde, Município de Fazenda Rio Grande – PR. Dissertação de Mestrado defendida no programa de Pós-graduação em tecnologia, CEFET/PR, Curitiba. 2002.



Bambu como insumo industrial no Brasil: reflexão sobre o papel da pesquisa na produção do bambu laminado colado (BaLC)



Jaime G. de Almeida⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília (FAU/UnB). SCLN 406, Lojas 54-58, Brasília DF, CEP. 70847-510.

E-mail: cpab@unb.br

Resumo – Este artigo analisa o papel desempenhado pela pesquisa e desenvolvimento (P&D) na industrialização do bambu no Brasil, tendo por objeto o bambu laminado colado (BaLC). Nele, a técnica do BaLC é comparada à do bambu cilíndrico, que utiliza práticas artesanais de valor artístico, ressaltando as suas interfaces. O texto discorre sobre a laminação do colmo de bambu gigante e destaca a potencialidade técnico-produtiva do laminado para a diversificação de produtos e regionalização da produção, com a inserção de pequenos agricultores. São apresentadas ainda informações sobre a produtividade do colmo de bambu, bem como os principais gargalos para o desenvolvimento do BaLC nacional.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: FABRICAÇÃO, PROJETO, TÉCNICA, COLMO, RIPA, REGIONALIZAÇÃO.

Bamboo as an industrial input in Brazil: reflections on the role of research in the production of glued laminated bamboo (GLBa)

Abstract – *This work analyzes the role of research and development (R&D) in the industrialization of bamboo in Brazil, focusing on the technique of glued laminated bamboo (GLBa). It considers the historical relationship between bamboo as a suitable material for industry and the process which employs bamboo culm through handicraft techniques of artistic value. We discuss the process of lamination of the giant bamboo culm and highlight its technical-productive capability for improving the diversity of products and also the social and regional situations, with the insertion of small agricultures. We also present data on the productivity of bamboo culms for making industrial products and conclude with the main constraints for development of glued laminated bamboo in Brazil.*

INDEX TERMS: FABRICATION, DESIGN, TECHNIQUE, CULM, STRIP, REGIONALIZATION.

Introdução

O tempo é tudo, o homem já não é nada;
é, quando muito, a carcaça do tempo.

Karl Marx

A percepção que os brasileiros têm do bambu está associada invariavelmente a duas imagens: a da vida simples de agricultores e a utilização desse recurso natural, por exemplo, em construções e na confecção de objetos para o uso cotidiano com emprego de técnicas manuais. São imagens construídas historicamente a partir de populações e comunidades tradicionais ou pré-industriais.

No Brasil, antes da chegada dos portugueses, as fibras naturais – incluindo os bambus nativos – eram correntemente aplicadas pelas populações indígenas em suas construções. Bem no início da colonização do país, os jesuítas empregaram esses recursos em suas primeiras edificações. Entretanto, eles foram substituídos por outros, de modo que, ao longo da colonização brasileira, sua aplicação se limitou a determinados usos, como na produção da armadura da taipa de sopapo, forros, treliças das edificações e apetrechos domésticos.

Esse *modus operandi* associa o bambu apenas à imagem de trabalho autônomo, que não necessita de especialização para ser realizado. Quando muito, o auxílio de um mestre basta para sua utilização no mercado formal de serviços e materiais de construção.

Há, portanto, nessa percepção, uma ênfase no trabalho artesanal calcado em técnicas de amarrações tradicionais, em que se destaca a utilização do bambu tubular (cilíndrico), ripado ou planificado. Seu uso se resume, portanto, ao mundo do artesanato artístico. Esse conceito é aplicado aos produtos de bambu em que sobressai o trabalho artesanal de mestres, articulado, por vezes, com o de especialistas. A presença desse universo na atualidade nos sinaliza que a tradição do bambu, de acordo com um conjunto de padrões cultivados e fixados ao longo do tempo, é algo duradouro e extraordinário.

Até hoje essa forma de trabalhar o bambu tem propiciado benefícios diretos à população do campo e, também, da periferia das cidades de países que possuem estoque nativo e cultivado da planta. O uso artesanal do bambu representa o ressurgimento do mundo histórico na contemporaneidade.

No entanto, com a substituição cada vez mais acelerada da vida rural pela urbana e o crescente fenômeno da socialização da sociedade, a ressignificação do uso tradicional e artístico do bambu se tornou evidente nos dias de hoje. Assim aconteceu com a aplicação do bambu na estrutura predial de construções especiais e únicas¹, como resorts na Ásia ou mansões e edificações públicas na América Latina. Esses empreendimentos colocam em relevo os mestres do bambu e propiciam sua incorporação por profissionais como arquitetos, *designers*, engenheiros e construtores. As técnicas tradicionais do bambu não apenas se mantiveram como foram “adaptadas” sob o ponto de vista técnico.

Por outro lado, a demanda internacional por produtos industrializados de bambu cresceu extraordinariamente. Contribuíram para isso a incorporação nesses produtos de insumos provenientes de atividades de projeto (*design*), arte e P&D. Esses *inputs* foram responsáveis pela inovação no segmento econômico e, sobretudo, contribuíram para o uso do bambu como matéria-prima na indústria.

O tema “bambu como insumo industrial” utilizado neste artigo tem várias implicações que mereceriam oportunamente uma análise mais detalhada. Há, por exemplo, as relações entre industrialização, democracia e distri-

¹ Não há disponível um diagnóstico atual sobre as construções com bambu praticadas no país. Verifica-se que grande parte delas segue basicamente os padrões estrangeiros, especialmente os de origem colombiana.

buição de riqueza; entre sociedade tradicional e moderna; e entre sistemas artesanais e mecanizados de produção do bambu.

Neste artigo, o termo industrialização é utilizado com três sentidos principais:

(a) como processo de produção em que se empregam máquinas e se adotam organizações sociais e produtivas correspondentes;

(b) como processo histórico em que se destaca a passagem da produção artesanal para a mecanizada;

(c) e no sentido estrito do termo, equivalente ao laminado colado, isto é, à recomposição de material a partir de unidades básicas (ripas). Ressalta-se, porém, que diferentemente de outros segmentos econômicos que lidam com fibras naturais, o bambu na produção industrial não exclui atividades artesanais básicas, como o manejo da planta, a colheita do colmo ou a produção descentralizada de matéria-prima em pequenas propriedades rurais.

Na China e em outros países asiáticos, a industrialização do bambu manteve e até reforçou a descentralização de seu cultivo nas pequenas propriedades rurais. Esse fato concorreu para a formação de organizações sociais produtivas, como os clusters. De acordo com Casagrande e Umezawa (2004), essa modalidade associativa ou cooperativa é conhecida como Arranjo Produtivo (AP). São associações com abrangência local e regional; em alguns casos, o alcance é nacional e até internacional. Há entre elas os arranjos sustentáveis, conhecidos por Arranjo Produtivo Sustentável (APS).

Nos países asiáticos, os produtos da indústria baseados no bambu tiveram contribuições significativas de P&D. Seus desdobramentos sociais foram assegurados por estruturas locais intermediárias, que qualificaram o trabalho e promoveram socialmente as populações locais; conseqüentemente, contribuíram para o equilíbrio inter-regional. Os pequenos e médios agricultores que cultivam a planta foram beneficiados na medida em que tiveram garantida sua participação no processo produtivo industrial.

Percebe-se que recentemente no Brasil há um crescente interesse do público em geral e de instituições públicas, privadas e do terceiro setor pelas atividades de estudo, pesquisa e capacitação em bambu. A mídia tem dedicado espaço ao bambu, vislumbrando nele uma alternativa sustentável para o enfrentamento da crise ambiental.

Hoje as condições institucionais do Brasil são favoráveis a empreendimentos dessa natureza. O Governo Federal definiu alguns instrumentos para o desenvolvimento do bambu no território nacional. Em 2006, foi criada a Rede Brasileira do Bambu (RBB), a partir do edital público 25/2008-9 do CNPq/MCTI. Já a Lei Federal no. 12.484 de 08/09/2011 estabelece a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado do Bambu, sob a sigla PNMCB. E, em 2011, houve a assinatura de um memorando de entendimento entre os governos de Brasil e China sobre a planta.

O ressurgimento do interesse pelo bambu no mundo globalizado provocou no Brasil algumas mudanças. O país entrou na rota do mercado internacional consumidor de produtos (utensílios de cozinha, pequenos objetos, cortinados de bambu etc.) oriundos de países asiáticos; as atividades de Ciência e Tecnologia (C&T) e P&D foram impulsionadas com o envolvimento de áreas como botânica, agronomia, arquitetura, projeto industrial, engenharia civil e engenharia florestal. Em geral, a população passou a perceber o bambu como um ativo de valor socioambiental.

Provavelmente as restrições à comercialização de madeira nativa ilegal e o controle governamental sobre a exploração madeireira de florestas nacionais contribuíram para esse cenário. Em consequência desse maior controle, a oferta de madeira no mercado interno foi reduzida substancialmente e os custos financeiros de aquisição se elevaram. Por outro lado, a produção industrial baseada no eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e pinho (*Pinus* spp.) não atingiram a gama de artefatos que as madeiras tradicionais possibilitavam (artesanato, equipamentos navais, móveis etc.). Enfim, essas duas espécies foram então direcionadas para atender principalmente à produção em escala de biomassa energética e de fibra das grandes indústrias.

Em face do panorama favorável ao bambu, este artigo considera P&D como um fator importante para impulsionar a industrialização dessa planta no país. A argumentação desenvolvida aqui se apoia nos experimentos laboratoriais de produção do BaLC² realizados pelo Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais da Universidade de Brasília (CPAB/UnB). O objetivo principal é refletir sobre a importância de P&D como um dos fatores necessários para ampliação dos usos industriais do bambu no

² Sobre as características mecânicas do BaLC, consultar o relatório de Divino Eterno Teixeira, pesquisador PhD do Laboratório de Produtos Florestais (LPF-SFB/MMA): "Relatório Ensaio de colagem: resistência do bambu laminado colado – BLC (*Dendrocalamus giganteus* [asper]) ao cisalhamento na linha de cola", realizado em 2010. E, sobre a anatomia deste bambu, consultar o relatório da professora Dalva Graciano Ribeiro: "Caracterização Anatômica do *Dendrocalamus giganteus* [asper] Munro (Poaceae: bambusoideae)" de 2010.

Brasil, bem como identificar os principais gargalos que limitam as atividades dos laboratórios das instituições públicas que lidam com o BaLC.

Na reflexão, serão consideradas ainda, de forma breve, questões relativas ao processo de produção do BaLC, ao aproveitamento do colmo de bambu e, sobretudo, à infraestrutura laboratorial de pesquisa.

Este artigo está organizado em quatro partes:

1. Processo de mudança e sobrevida do bambu: discorre sobre as principais características anatômicas, morfológicas e físicas do colmo do bambu apropriadas ao BaLC e, também, sobre a transição do processo de produção artesanal-artística para a produção industrial, levando-se em conta as interfaces entre eles.
2. Bambu Laminado Colado (BaLC): apresenta essa técnica industrial bem como as máquinas e ferramentas utilizadas no Brasil para esse fim.
3. Técnica, Projeto, P&D e a Industrialização do Bambu no Brasil: analisa a importância dessa atividade para a formação de uma cadeia produtiva e de valor social do bambu no país, mencionando sucintamente a questão ontológica da técnica.
4. Conclusões: sintetiza a análise desenvolvida, elenca os principais obstáculos enfrentados pelos pesquisadores de BaLC e sugere algumas medidas para a solução dos problemas identificados.

PROCESSO DE MUDANÇA E SOBREVIDA DO BAMBU - O bambu é uma planta rizomatosa, pertence à subfamília Bambusoideae, da família das gramíneas (Poaceae ou Gramineae)³, dividida em duas tribos: a Bambuseae (denominadas lenhosas ou bambus arbóreos) e a Olyrae (denominadas herbáceas). Segundo Velez (2001), o bambu cresce 30% mais rápido do que as demais espécies vegetais e, na relação de peso/hectare/ano, a sua produção é 25 vezes maior do que a da madeira.

O colmo é a parte aérea do bambu. É formado principalmente por celulose, hemicelulose, conhecida como holocelulose, e por lignina, além de outros

³ Segundo McClure (1966), os taxonomistas classificam o bambu de diversas formas: Gramineae e subfamília Bambusoideae; Gramina e subfamília Bambusoideae; Gramineae e tribo Bambuseae; Gramina Classe X, *Bambusaceae*; ou simplesmente *Bambusaceae*.

compostos químicos. É revestido internamente por uma película (pergamimho) e, externamente, por uma camada impermeável de células densas, cutinizadas e recobertas principalmente de cera e sílica. Os feixes de fibras se encontram agrupados em torno dos condutos vasculares. A sílica presente na cutícula externa do colmo dificulta o trabalho das máquinas, pois danifica as peças de corte (discos, facas, fresas e serras).

O Brasil, de acordo com Londoño (1999), possui a maior diversidade de bambu e, também, a maior concentração de florestas com bambu das Américas. Há no país 137 espécies, que representam 32% do total do continente, e 17 gêneros, equivalentes a 85% desse total. No estado do Acre, há florestas com *Guadua* spp., conhecidas por tabocais. Encontram-se nelas espécies de bambu lenhoso, algumas de excelente qualidade e potencial econômico, cujo emprego naquele estado é nulo.

Há várias espécies de bambus de valor econômico, cultivadas em diferentes regiões do país, que foram introduzidas pelos colonizadores portugueses e imigrantes estrangeiros recentes, como os bambus do gênero *Phyllostachys*, empregados principalmente na produção de tutores para plantas, varas de pescar e brotos para alimentação humana. Juntamente com os bambus nativos (conhecidos como taboca, taquara, entre outras denominações locais), eles formam um plantel de espécies com enorme potencialidade socioeconômica.

Na pesquisa sobre a produção industrial de ripas de bambu para a fabricação do BaLC pelos laboratórios nacionais, o bambu usualmente empregado é o gigante, precisamente o *Dendrocalamus asper*. Segundo Farrely (1996), é bambu de touceira e possui colmos ligeiramente cônicos, atingindo a altura de 30 metros e com diâmetro máximo em torno de 25 centímetros. Suas paredes são grossas na base e se afinam em direção ao topo. A provável origem desse bambu é o leste da Índia, mas é cultivado em toda a Ásia.

Trata-se de um bambu versátil, utilizado no artesanato, construção civil, paisagismo e na fabricação de implementos agrícolas, móveis, papel e ripas para laminado colado. Também produz brotos de excelente qualidade, muito apreciados na gastronomia. O paisagismo tem tirado proveito do porte avantajado desse tipo de bambu, que causa forte impressão nas pessoas. É uma planta resistente ao frio e que se adapta muito bem às regiões elevadas.

O bambu gigante é cultivado no Planalto Central do Brasil. Foi introduzido no Distrito Federal (DF) pela migração japonesa que veio a Brasília no final da década de 1950, procedente da cidade de Inhumas, Goiás. Desses bambuzais são coletados colmos para diferentes empregos na região, inclusive para pesquisa.

USO ARTESANAL E INDUSTRIAL DO BAMBU - São identificados dois usos predominantes do colmo do bambu no Brasil e no mundo: (a) o artesanal e (b) o industrial. Esse dois tipos de utilização possuem especificidades, demandas dirigidas e contextos próprios, mas não são excludentes entre si, pois, como foi visto, o uso do colmo do bambu na indústria é decorrência do trabalho artesanal.

a) Uso artesanal do bambu - A utilização “clássica” ou tradicional do bambu está associada a técnicas artesanais e ao trabalho de artesãos. Nesse caso, ocorre a predominância do uso do bambu tubular (colmo inteiro) ou com modificações físicas, como a planificação que recebe o nome de *esterilla* na Colômbia. O artesanato do bambu conta com padrões de produtos e técnicas pré-determinados pela tradição. Esse processo é de fácil aplicação e possui um conjunto simplificado de ferramentas e uma aprendizagem direta, com a ajuda de mestres artesãos.

Entretanto, os padrões artesanais do bambu nas construções prediais, quando envolvem edificações com grandes vãos estruturais (por exemplo, galpões agrícolas, mansões, pátios escolares e pontes), recebem invariavelmente apoio técnico de profissionais especializados (calculistas). Dessa forma, a técnica artesanal passou, desde então, a atender às exigências atuais de ordem estética, segurança física, durabilidade e prevenção a sinistros.

As construções artesanais com o bambu são praticadas até hoje por vários motivos. Elas evocam a imagem de um mundo harmonioso no qual o homem seguia o ciclo da natureza e as técnicas construtivas acompanhavam a tradição.

No entanto, esse modo tradicional da construção com o bambu tubular se tornou permanente com a fixação de um conjunto de soluções técnicas construtivas, em que o problema da estrutura predial se reduziu à união de peças (vigas e pilares) entre si. A Colômbia foi talvez o primeiro país das Américas a normatizar a ligação de peças estruturais das construções com bambu. Obviamente outros tópicos mereceram atenção por parte de artesãos e profissionais, como a imunização do colmo do bambu contra insetos e fungos e prevenção a incêndios.

Assim, a arquitetura com o bambu tubular passou a contar com um conjunto de padrões técnicos bem delineados e, sobretudo, facilmente identificados com um público cativo. Por um lado, esses padrões mereceram “aprimoramentos” técnicos e foram empregados pelo segmento do turismo, em que há um forte apelo ambiental e cultural. Essa opção construtiva foi adotada também por governos de países latino-americanos em programas de habitação popular, como os da Costa Rica e Colômbia.



b) Uso industrial do bambu - A utilização contemporânea do bambu é predominantemente industrial. Ela é uma decorrência de duas contingências práticas: a demanda crescente por produtos novos e diversificados de bambu e a introdução de técnicas de manufatura com o apoio de máquinas, em que o tempo passou a ser considerado uma variável-chave da produção.

Segundo Almeida (2006), o que ocorreu na China exemplifica essa situação. Com o aumento de escala de produção para o mercado internacional, os artesãos chineses de trançado de fitas para a manufatura de esteiras – que resultam em produtos como cestos, chapéus, forração de tetos e paredes e obras de arte na forma de quadros trançados – passaram a extrair fitas mecanicamente. Isso não significou a eliminação de extração manual, que é mantida até hoje. Na produção industrial do bambu para a construção predial e demais segmentos, a ripa é um dos principais elementos. Ela é extraída do colmo e, com ela, confeccionam-se tábuas, pranchas e caibros e, destes, uma diversidade enorme de artefatos. Trata-se de um processo homólogo à industrialização da madeira, especialmente da madeira laminada colada (MLC).

O bambu como insumo industrial abriu novas possibilidades para permanência dessa matéria-prima no mundo atual. Contribuiu para esse fato a incorporação do projeto (teleologia e desígnio) na produção de objetos a partir do bambu laminado. Dessa forma, com o projeto se abriram inúmeras possibilidades de usos do BaLC no que diz respeito à produção de bens de consumo e à incorporação de profissionais especializados.

BAMBU LAMINADO COLADO (BaLC) - A pesquisa sobre a laminação do bambu desenvolvida pelas diferentes unidades de pesquisa nacional consiste em um processo mecânico de colagem de ripa com ripa, em que se empregam adesivo, prensas e outras máquinas. As ripas são dispostas e coladas umas ao lado de outras para formar tábuas, que por sua vez são coladas umas sobre outras até tomarem dimensões e formatos que atendam à fabricação dos produtos desejados. O processo de laminação produz peças retilíneas, curvas ou mistas. Assim, é teoricamente possível obter, a partir desse processo, qualquer peça, placa ou viga com dimensões e formatos variados (seção e comprimento).

Por se tratar de um processo industrial, a laminação do bambu necessita de planejamento produtivo e de procedimentos sistemáticos, com utilização de maquinário semelhante ao de uma marcenaria. Embora em pequena escala de produção, o laminado pode ser executado manualmente (artesanal), com o apoio de poucas máquinas. Afinal, o que constitui o BaLC são as unidades básicas que, combinadas entre si, resultam em peças ou objetos

variados. É um sistema aberto sendo composto por elementos, o que abre um horizonte amplo para os *designers* e arquitetos.

O processo de fabricação do laminado de bambu começa com a extração de ripas do colmo. As dimensões e a quantidade de ripas obtidas têm relação direta com a geometria do colmo; este, por sua vez, depende da espécie do bambu utilizado e do manejo da plantação no campo.

Quanto às espécies de bambu utilizadas na laminação, os chineses dão preferência à *Phyllostachys edulis* (conhecida popularmente como bambu mossô). Diferentemente dos chineses, no Brasil se utiliza o bambu da espécie *Dendrocalamus asper*. No processo industrial, uma das diferenças básicas entre as duas espécies (bambu mossô e gigante) é a espessura da parede do colmo, maior no caso do bambu gigante, o que se configura como uma vantagem comparativa na produção de laminado para a edificação e o mobiliário.

De forma resumida, o processo de laminação do colmo de bambu compreende um conjunto de operações concatenadas, como coleta e controle geométrico-quantitativo do colmo, produção de ripas, imunização e montagem de peças com seção predominantemente retangular ou quadrangular. Os colmos apropriados à produção da ripa, em termos de espessura de parede, são adquiridos pelo CPAB/UnB de acordo com as seguintes especificações: comprimento da peça acima de 120cm, diâmetro superior a 140mm, espessura da parede acima de 15mm e distância dos entrenós de, no mínimo, 300mm. As peças não devem apresentar deformações nem fissuras.

A adoção desses parâmetros foi uma necessidade depois das primeiras aquisições de colmos pelo centro de pesquisa, que teve alta porcentagem de perda. Os colmos são adquiridos de microempresas fornecedoras, que os coletam no Distrito Federal e áreas em torno. Há um projeto em andamento no CPAB para o plantio experimental de bambu gigante na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (FAL/UnB).

As peças de bambu padronizadas passam por cinco operações industriais:

- 1) fabricação da ripa bruta e, em seguida, da ripa perfilada, com o emprego de duas máquinas adequadas ao trabalho com o bambu e de serra de bancada, que é utilizada em marcenaria;
- 2) tratamento da ripa contra insetos e fungos, que poderá ser feito conforme a destinação do material; nessa etapa, a imersão em uma solução de água e boro (bórax – tetraborato de sódio deca hidratado) ou por temperatura são correntemente utilizados;



- 3) secagem ao ar livre, protegida contra a luz solar e as intempéries, ou em estufa;
- 4) colagem e prensagem de ripas com a retirada do excesso de cola das peças fabricadas com o uso da máquina de desengrosso;
- 5) preparação final da peça com uso de lixa, serra de disco, desengrosso e plaina de bancada, entre outras máquinas de marcenaria.

Os principais problemas que têm preocupado os pesquisadores envolvidos com a produção do BaLC são:

- (a) o custo final do laminado, devido, principalmente, ao preço do adesivo estrutural, que é importado da Alemanha;
- (b) o rendimento do colmo do bambu (produção de ripas);
- (c) falta de plantações sistemáticas de bambu (plantações comerciais) em muitas regiões do país.

Sobre o rendimento do bambu, De Flander e Rovers (2008) dedicaram-se a esse estudo a partir de plantações da *Guadua angustifolia* Kunth, bambu similar ao *Dendrocalamus asper*, e chegaram a resultados promissores envolvendo a relação hectare plantado/estrutura laminada de habitação, mas deixaram de fora o rendimento do colmo de bambu na indústria.

As tabelas 1a, 1b e 1c apresentam a caracterização geométrica do bambu utilizado no processo de laminação realizado pela equipe técnica⁴ do CPAB/UnB. A pesquisa resultou na montagem em escala real de uma parte da estrutura predial de BaLC, visando à habitação econômica.

⁴A equipe responsável pelo levantamento geométrico e físico dos colmos de bambu foi composta pelos pesquisadores e técnicos do CPAB/UnB: Ana Cristina T. V. de Magalhães, André Crispim dos Santos, Gildésio Neves, Jonatas Pereira da Silva e João Dias de Souza.

Tabela 1a. Caracterização geométrica de 780 peças de bambu com 1,245 m de comprimento médio

A	B	C	D	E	F
Diâmetro médio externo e interno em cm	Espessura média da parede em cm	Número médio de nós por peça em unid.	Metragem total em metros	Massa média em kg	Volume médio em cm ³ e m ³
14,11 11,35	1,38	3,12	971,22	6,09	6.872 cm³ 0,006872 m³

Tabela 1b. Ripas de bambu produzidas com 2,5 cm de largura média de 780 peças de bambu

A	B	C
Quantidade de peças em unid.	Quantidade de ripas produzidas em unid.	Quantidade de ripas por peça (B de A) em unid.
780	7.723	9,9

Tabela 1c. Relação de aproveitamento de peças de bambu x ripas em volume para a produção de laminado colado

A	B	C	D	E
Volume total das peças de bambu (780) em m ³	Volume total das ripas produzidas (7.723) em m ³	Volume produzido em aparas e serragem (A – B) em m ³	Porcentagem de ripas produzidas em relação às peças de bambu (B de A)	Porcentagem de aparas e serragem produzidas em relação às peças de bambu (C de A)
5,36	1,68	3,68	31,34%	68,66%

Na pesquisa realizada entre 2009 e 2010 pelo CPAB/UnB, o estoque de bambu foi adquirido de fornecedores do Distrito Federal (DF), que coletam a planta na área rural da cidade de Brazlândia. Observa-se, no entanto, que não se trata de bambuzais plantados com essa finalidade. São plantações decorrentes de iniciativa de chacareiros e fazendeiros sem preocupações comerciais diretas. Não há no DF plantações comerciais devidamente manejadas de bambu para o fornecimento de colmos para a produção de BaLC.

O CPAB/UnB adquiriu, na ocasião, um lote de 272 peças, isto é, partes cortadas de colmos de bambu de comprimento médio de 4,95 m (total de 1.346,45 m, média de 0,033561 m³ ou 33,561 cm³). O aproveitamento final do lote foi de 780 peças (total de 971,22 m, média de 0,006872 m³ ou 6,872 cm³) com 1,245 m de comprimento. Essas peças foram destinadas à



produção de ripas. Assim, foram então aproveitados 72% do total de peças adquiridas pelo centro de pesquisa. Os 28% restantes (375,23 m) não foram destinados ao laminado por apresentarem espessura de parede insuficiente, entrenós muito próximos, trincas, entre outros defeitos acidentais. Mas essas peças podem ser destinadas a outros fins, como produção de artesanato, carvão, palito e varetas.

Os quantitativos relativos à caracterização e produtividade do bambu para a produção do laminado constam nas tabelas 1a, 1b e 1c)⁵. Na medição desse bambu, foram utilizados trena de 5 m, paquímetro, balança digital e padiola de 1 m³.

Quanto aos dados coletados, observa-se que a tabela 1c apresenta uma relação desigual entre o aproveitamento do bambu para o laminado no total de 1,68 m³ de ripas em relação ao total de 3,68 m³ de aparas e serragem, respectivamente 31,34% e 68,66%. Esse fato indica que há muito a ser feito nesse quesito.

TÉCNICA, PROJETO, P&D E INDUSTRIALIZAÇÃO DO BAMBU NO BRASIL - A objetivação do conhecimento não é uma propriedade exclusiva da ciência por meio da técnica, mas igualmente das artes e do artesanato, que contribuem para a produção de objetos que utilizamos no nosso cotidiano. Diferentemente do artesanato, que não necessita de uma infraestrutura complexa para sua realização, o bambu na indústria requer ambiente apropriado (fábrica ou oficina), consórcio de atividades como as de projeto (planejamento da produção) e, sobretudo, P&D (especialmente a inovação).

A questão ontológica da técnica diz respeito ao pôr teleológico (finalismo) do trabalho e à práxis. Na análise do trabalho, Aristóteles (citado por Lukács, 2013) refere-se ao conceito de *dýnamis* (potência), que significa “faculdade de levar a bom termo determinada coisa e de executá-la de acordo com a própria intenção”. Ainda segundo Lukács (2013), Aristóteles identifica na atividade do trabalho dois universos: “o pensar (*nóesis*) e o produzir (*poiesis*); por meio do primeiro, é posto o fim e se buscam os meios para a realização; por meio do segundo, o fim posto chega à realização”. Acrescenta Lukács (2013) que foi Nicolai Hartmann quem dividiu o pensar em dois momentos, o do estabelecimento da finalidade e a busca de meios para concretizá-la. É nesse universo que a técnica é evidenciada. Lukács observa que a escolha da técnica para a viabilização dos objetivos do trabalho é um ato de consciência e, como tal, complexo.

⁵ Essas tabelas contaram com a colaboração de Ana Cristina T. V. de Magalhaes, do CPAB/UnB.

Não obstante, o autor (Lukács, 2013) destaca os nexos entre C&T, produção e sociedade: “a racionalidade [do trabalho] depende da necessidade concreta que aquele produto singular deve satisfazer” e que “o processo social real, do qual emergem o por do fim quanto à descoberta e aplicação de meios [técnicas] é o que determina – delimitando o concretamente – o campo das perguntas e respostas possíveis, das alternativas que podem ser realizadas” (Lukács, 2013). Com relação à C&T como fator de produção, Marx (2011) observa que “o desenvolvimento da ciência, esta riqueza ideal e ao mesmo tempo prática, é apenas um aspecto, uma forma, em que se manifesta o desenvolvimento das forças produtivas humanas, isto é, da riqueza”.

Inserese, portanto, nessa discussão, o bambu laminado como um produto decorrente de P&D. Como foi assinalado, o BaLC na China foi originado do desenvolvimento da produção manufatureira de base artesanal. Certamente contribuiu para isso a inserção daquele país no mundo industrializado e globalizado. A introdução de máquinas na produção do bambu e de processos de gestão com características de *clusters* locais foi decisiva para a afirmação dessa matéria-prima no mercado internacional.

Os chineses combinaram as organizações de base social existentes com a economia de mercado, o que resultou em uma divisão de trabalho regional e nacional envolvendo o campo e a cidade. Esse sistema complexo de relações e divisão de tarefas é liderado pelas empresas-dragão (empresas líderes que promovem a produção e exportam os produtos). Cooperou para isso a reforma agrária com a desapropriação das terras realizada pelo Estado chinês no final dos anos 1940.

No Brasil, o processo de uso do bambu não se compara ao dos países asiáticos citados. O estágio em que se encontra o emprego do bambu no país não é decorrente do processo “clássico”, em que se verifica o desenvolvimento *pari passu* do sistema artesanal para o manufatureiro e, finalmente, o industrial. É algo inusitado, pois o país não promoveu a tempo políticas de industrialização do bambu, nem estimulou investimento financeiro público ou privado de modo a criar um sistema de produção que demandasse insumos de pesquisa e projeto, como aconteceu na Ásia.

O Brasil está em uma situação curiosa, pois em vez dos insumos de P&D apoiarem a produção do bambu, requalificando-a e atualizando-a, parece que a pesquisa passou a desempenhar uma função inversa, a de indutora da produção. Assim, supõe-se que o desenvolvimento tecnológico do BaLC desperte o interesse de governantes e agentes do setor produtivo pela produção nacional do bambu. Seguir em frente é uma contingência inevitável, pois não há como retroceder a História e começarmos o processo da estaca zero



para, depois, galgarmos os ciclos subsequentes. Estamos imersos no mundo atual do bambu e somos compelidos a atuar nele.

O desenvolvimento industrial do bambu no país poderia ser denominado, como assinala a literatura, de “industrialização mimética”, visto que ela está sintonizada com o que há de mais avançado do bambu mundial, a produção industrial asiática.

Conclusões

Vimos que P&D desempenha um papel singular de indutor do processo de industrialização do bambu no país. E, com a concretização desse processo, o Brasil poderá fazer parte do rol dos países produtores. No entanto, não se deve perder de vista as políticas públicas e seus mecanismos intermediários, de modo que os benefícios socioeconômicos gerados por ele (desenvolvimento industrial) retornem às populações locais.

O trabalho levantou outras questões correlatas ao BaLC que merecem ser analisadas:

- o descompasso entre um promissor desenvolvimento tecnológico e propositivo do bambu e o déficit de cultivo sistemático de espécies de bambu para fornecimento de colmo em quantidade e qualidade à indústria;
- a questão fundiária, pois sem o equacionamento desse problema a proposta do APL ficaria restrita às regiões onde essa questão foi decidida;
- a falta gritante de políticas federais e, sobretudo, de investimento financeiro na área.

No que concerne à produção do BaLC *per se* no Brasil, este trabalho levantou algumas questões que valem ser discutidas a fim de qualificar essa produção. Entre elas estão o aproveitamento máximo do colmo e de seus resíduos (principalmente aparas, ponteiros e serragem), gerados no processo de laminação; a produção conjugada de produtos com os resíduos; e a melhoria da infraestrutura de produção (maquinário, processos produtivos etc.).

Sobre o quesito infraestrutura de produção é imperativo o uso de ferramentas digitais, como as máquinas CAM (Computer Aided Manufacturing) na primeira etapa do laminado, isto é, na extração da ripa bruta, que exige cortes precisos do colmo com menos perda de massa e, também, o emprego

de prensas de controle automático de pressão. Hoje há no país uma única empresa nacional de pequeno porte fabricante de máquinas tradicionais para a produção de BaLC, que necessita de investimentos e melhorias técnicas.

Outras ações poderão ser incluídas nessa lista como a aplicação da Lei Nacional do Bambu⁶; o desenvolvimento de adesivos nacionais para a colagem do BaLC, uma vez que o adesivo estrutural que utilizamos no laminado possui custo proibitivo; e a realização de experimentos e demonstrações de processos industriais com viés social, para que as populações vulneráveis sejam incorporadas. Dessa forma, as instituições públicas de P&D, em conjunto com as cooperativas agrícolas de base familiar e as do terceiro setor, entre outros agentes, poderiam dar início a esse modus operandi do bambu no Brasil.

Agradecimentos

Aos editais públicos CTAGRO/Edital MCT/CNPq/CT-Agro nº 25/2008: Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação do Bambu e Edital 03/2015: Seleção Pública de Projetos de Pesquisa Científica, Tecnológica e Inovação - Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia do Governo do Distrito Federal (SECTI/GDF), pelo apoio financeiro a essa pesquisa.

Referências

- ALMEIDA, J.G. Artesanato de Bambu na China: relato e reflexões sobre um curso de treinamento na província de Sichuan. In: **Seminário Nacional para a Estruturação da Rede de Pesquisa e Desenvolvimento do Bambu**. Brasília: FAU-UnB, 2006.
- CASAGRANDE, E.F.; UMEZAWA, H.A. Bambu e Arranjos Produtivos Locais Sustentáveis (APLS): sequestro de carbono, tecnologia social e sustentabilidade. **Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitações e Infraestrutura de Interesse Social Brasil-NOCMAT**. Pirassununga, SP, Abmtenc/NOCMAT, p.67-75, 2004.
- DE FLANDERS, K.; ROVERS, R. One laminated bamboo-frame house per hectare per year, Construction and building materials, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008. Acesso em 10 out. 2014.

⁶ Colocar em prática a Lei no. 12.484 de 8/9/2011 da Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB) é um desafio que merece em outra oportunidade ser discutido com maior fôlego. O debate nacional dessa lei foi apenas iniciado, porém não foi levado em conta o bambu no mundo globalizado, como também sua inserção nas políticas públicas nacionais.

- Farrelly, D. **The book of bamboos**. London, Great Britain: Thames and Hudson Ltd., 1996.
- Londoño, X. Evaluation of bamboo resources in Latin America. A summary of the final report of project N 96.8300.01.4. **International Network for Bamboo and Rattan (INBAR)**. Pequim: INBAR, 1999.
- LUKÁCS, G. **Para uma ontologia do ser social II**. Tradução N. Schneider, I. Tonet e R. Vielmi Fortes. 1a. ed. São Paulo: Boitempo, 2013.
- MARX, K. **Grundrisse. Manuscritos econômicos de 1857-1858: esboços da crítica da economia política**. Supervisão Editorial de M. Duayer; Tradução N. Schneider, colaboração H. Werner e R. Hoffman. São Paulo: Boitempo / Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2011.
- MCGLURE, F.A. **The bamboos: a fresh perspective**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University press, 1966.
- OPRINS, J. van; TRIER, H. **Bamboo: a material for landscape and garden design**. Basel, Switzerland: Birkhäuser – Publishers for Architecture, 2006.
- PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, São Paulo: Canal 6, 2008.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei nº 12484 de 08 de novembro de 2011. Dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu e dá outras providências (...). Brasília DF, 2011.
- Velez, S. **Grow your own house – Simon Velez and bamboo architecture**. Weil am Rhein/Germany: Vitra *Design* Museum, ZERI, C.I.R.E.C.A, 2001.



Uso de compósitos de argamassa de cimento e areia com adição de partículas de bambu na produção de telhas

Antonio Ludovico Beraldo⁽¹⁾

⁽¹⁾ Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), *campus* Limeira. Avenida Paschoal Marmo, 1.888, Jardim Nova Itália, CEP 133484-332, Limeira, São Paulo. E-mail: to.beraldo@gmail.com

Resumo – A maioria dos materiais utilizados na construção gera problemas durante a exploração das matérias-primas, ou devido ao descarte das mesmas no meio ambiente. Por outro lado, o bambu é uma matéria-prima renovável e que pode substituir materiais convencionais. Foram avaliadas as propriedades de compósitos à base de argamassa de cimento Portland e areia, modificada pela adição de partículas de bambu após as mesmas terem sido submetidas aos tratamentos de lavagem em água quente e em soluções diluídas de cal e de soda. O compósito de argamassa de cimento e areia (1:3) modificado pela adição das partículas de bambu (5% e 8%) foi submetido a ensaios destrutivos e não destrutivos (ultrassom). A partir dos resultados obtidos, foram confeccionadas telhas onduladas em equipamento especificamente desenvolvido para tal fim, mostrando perspectivas de utilização do compósito em construções, sobretudo no meio rural.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: MATERIAL NÃO CONVENCIONAL, ULTRASSOM, TRATAMENTOS.



Utilization of cement and sand mortar with bamboo particles addition for tiles manufacturing

Abstract – Most materials employed in construction generate problems during raw materials exploitation, or due to their disposal in the environment. On the other hand, bamboo is a renewable raw material which can replace conventional ones. We evaluated the properties of composites made from Portland cement and sand mortar modified by bamboo particles. Bamboo particles were treated in hot water and in diluted solution (calcium and sodium hydroxide). Portland cement mortar (1:3) modified by bamboo treated particles (5% and 8%) was subjected to destructive and non-destructive tests (ultrasound). From the results obtained, undulated sheets were produced in a device specifically developed for this purpose, showing the possibility of employing this composite in buildings, especially in rural areas.

INDEX TERMS: NON-CONVENTIONAL MATERIAL, ULTRASOUND, TREATMENTS.

Introdução

No Brasil, o bambu ainda não alcançou o *status* de um material de construção confiável. Na maioria das vezes, emprega-se o bambu apenas em obras temporárias, pois a preocupação principal é o baixo custo do material. No entanto, se as construções com bambu forem devidamente projetadas, com espécies mais adequadas para tais fins, elas poderiam equiparar-se às demais, tanto sob o ponto de vista das técnicas construtivas adequadas quanto de aspectos ligados ao aumento da durabilidade do material.

Pressupõe-se que a partir da regulamentação da Lei Federal direcionada ao incentivo do plantio e da utilização do bambu será intensificada a disponibilidade do bambu destinado a diversas aplicações, desde geração de energia, na forma de pellets ou de carvão, até utilizações que propiciem maior valor agregado – o bambu engenheirado, que contempla chapas prensadas de partículas de bambu, bambu laminado colado, dentre outras (Pereira & Beraldo, 2007). Para o suprimento de matéria-prima destinada às aplicações industriais serão geradas grandes quantidades de resíduos, para os quais também se deve buscar uma aplicação racional. Uma das possibilidades seria a utilização de tais resíduos na produção de artefatos à base de cimento, tais como telhas onduladas (Beraldo et al., 2003), a exemplo do que se produziu com resíduos da madeira de *Pinus* (Pimentel, 2000).

Material e métodos

Colmos de bambus da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. foram coletados no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) pertencente à Universidade Estadual de Campinas (Unicamp – SP). Os colmos foram cortados transversalmente em uma serra circular para posterior fracionamento em moinho agrícola. Após esse processamento, as partículas obtidas foram secas em ambiente protegido.

Posteriormente, visando melhorar a compatibilidade química das partículas de bambu como cimento Portland (Beraldo, 2011), foram efetuados os seguintes tratamentos:

- imersão durante 24 h em soluções diluídas (10%) de hidróxido de sódio (soda cáustica) e de hidróxido de cálcio (cal hidratada);
- imersão em água quente a 80 °C, durante 2 h.

Após os tratamentos, as partículas foram lavadas em água corrente e secadas ao sol. As partículas de bambu foram caracterizadas por meio dos seguintes ensaios:

GRANULOMETRIA (DISTRIBUIÇÃO EM TAMANHO DAS PARTÍCULAS): realizada conforme a norma NBR 7217 (ABNT, 1987), com peneiras Tyler: #8 (2,40 mm), #16 (1,19 mm), #30 (0,60 mm), #50 (0,30 mm), #100 (0,149 mm) e fundo. As partículas de bambu não apresentam uma geometria uniforme devido ao processo de fragmentação ao qual foram submetidas. Além disso, não podem ser consideradas como “fibras”, pois o comprimento das partículas obtidas não é tão superior às demais dimensões.

MASSA ESPECÍFICA APARENTE: realizada utilizando-se de um béquer graduado de 1 L, no qual a amostra de bambu foi colocada tomando-se cuidado para não compactar a mesma. Foram realizadas três repetições. A massa específica aparente foi calculada pela equação (1).

$$\rho = \frac{(M)}{1000} \quad (1)$$

Onde: ρ = massa específica aparente (g/cm^3); e M = massa de partículas de bambu (g).

TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS: foi determinado utilizando-se três amostras colocadas em cápsulas metálicas. As mesmas permaneceram por um período de 24 h em estufa a 103 ± 2 °C. Para o cálculo da umidade utilizou-se a equação (2).

$$h(\%) = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100 \quad (2)$$

Onde: h (%) = teor de umidade, em porcentagem; Mu = massa úmida (g); e Ms = massa seca (g).

ABSORÇÃO DE ÁGUA: realizado imergindo-se em água certa massa de partículas de bambu por um período de 72 h. Após esse período de imersão, o material foi enxugado superficialmente com papel toalha e novamente pesado.

Foram efetuadas duas repetições, sendo a absorção calculada de acordo com a equação (3).

$$A(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (3)$$

Onde: A(%) = absorção de água (%).

Após a caracterização das partículas de bambu, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (NBR 7215) totalizando doze tratamentos (tabela 1). Como matrizes foram utilizados: cimento Portland CP II-E-32 (cimento composto com escória; NBR 11578) e cimento Portland CP V ARI (cimento de alta resistência inicial; NBR 5733).

Tabela 1. Legenda para especificação dos tratamentos

Ensaio	Cimento	Tratamento	% de fibra
T 01	CP V	Soda cáustica	5
T 02	CP V	Água quente	5
T 03	CP V	Cal hidratada	5
T 04	CP V	Soda cáustica	8
T 05	CP V	Água quente	8
T 06	CP V	Cal hidratada	8
T 07	CP II	Soda cáustica	5
T 08	CP II	Água quente	5
T 09	CP II	Cal hidratada	5
T 10	CP II	Soda cáustica	8
T 11	CP II	Água quente	8
T 12	CP II	Cal hidratada	8

Os traços (em massa) utilizados na confecção dos corpos de prova foram de 1: 3: 0,05: 0,34 e 1:3: 0,08: 0,38 (cimento: areia: bambu : água), com, 5% e 8% de partículas de bambu tratadas, respectivamente. A moldagem dos corpos de prova atendeu ao máximo possível a metodologia descrita na norma NBR 7215. A mistura dos materiais foi executada na seguinte ordem: [(cimento + areia) + partículas] + água; a compactação da mesma foi feita em quatro camadas acomodadas com golpes de soquete. A cura dos corpos de prova foi efetuada em câmara úmida por 7 dias, seguido de secagem ao ar.

Os corpos de prova foram submetidos aos seguintes ensaios:

- Compressão simples (NBR 7215) e diametral (NBR 7222) aos 7, 14 e 28 dias;
- Ensaio não destrutivo (END-ultrassom). Para tal, utilizou-se o equipamento *Ultrasonic Tester BP-7* (Steinkamp), com transdutores de seção exponencial, de 45 kHz de frequência de ressonância. Os sensores eletroacústicos foram posicionados na direção longitudinal aos corpos de prova.
- Ensaio de absorção de água (NBR 9778) – realizado apenas após 28 dias.

Os dados obtidos nos ensaios precedentes foram analisados estatisticamente com o auxílio do *software Statgraphics*. Efetuou-se a análise de variância (ANOVA) para detectar a influência dos diferentes fatores (tipo de cimento, tipo de tratamento e teor de partículas de bambu) nas propriedades do compósito. As médias foram comparadas por meio do teste de Tukey a 95% de probabilidade estatística.

APLICAÇÃO DO COMPÓSITO NA CONFECÇÃO DE TELHAS ONDULADAS - A seguir, baseando-se nos resultados de caracterização físico-mecânica do compósito, buscou-se aplicá-lo na confecção de telhas onduladas.

Ao longo do tempo, várias alternativas foram buscadas pelo homem para abrigo contra as intempéries, desde o emprego de fibras vegetais até a utilização de materiais mais elaborados, tais como as telhas cerâmicas, metálicas, plásticas e de fibrocimento. No entanto, uma questão crucial sempre é colocada: como obter um material que apresente um bom desempenho físico-mecânico, e que possa, ao mesmo tempo, ser aliado ao baixo custo e, principalmente, possa ser fabricado artesanalmente.

As fibras vegetais desempenham um importante papel na proteção contra os raios solares, além de serem disponíveis localmente, principalmente em países tropicais. No entanto, geralmente mostram baixa durabilidade natu-

ral quando são expostas à ação da umidade, além de apresentarem risco de incêndio e servirem de abrigos para insetos.

Por sua vez, as telhas industrializadas (metálicas, plásticas e de fibrocimento) geralmente são menos eficientes em termos de isolamento térmico – condição crucial em países tropicais. Além disso, são feitas de matérias-primas não renováveis e demandam para sua produção instalações sofisticadas e centralizadas, o que inviabiliza sua aplicação na autoconstrução.

No entanto, pode-se dispor de uma tecnologia intermediária entre coberturas com fibras vegetais (isolamento térmico excelente, baixa durabilidade natural e baixo custo) e com o fibrocimento (isolamento térmico deficiente, alta durabilidade, elevado impacto ambiental e alto custo). Trata-se da utilização de compósitos de biomassa vegetal e argamassa de cimento – o Biokreto® (www.apuama.org).

Os fibrocimentos são constituídos de uma matriz (cimento Portland) reforçada por uma série de fibras: minerais (amianto), plásticas, de vidro e metálicas. Nesses casos, o reforço é constituído por materiais do tipo filamentosos, ou seja, que apresentam uma dimensão (comprimento) muito superior às demais. Devido à geometria do reforço empregado, a fabricação do fibrocimento requer instalações industriais específicas, contemplando as etapas de mistura, prensagem, vácuo e cura.

A partir das propriedades do compósito estudado, pode-se obter o tratamento preliminar mais adequado a ser aplicado às partículas de bambu, além da escolha da dosagem mais adequada para a aplicação desejada para o compósito. Dessa forma, pode-se iniciar a etapa de fabricação de componentes, utilizando equipamentos disponíveis no mercado ou até mesmo desenvolvendo equipamentos específicos para determinada aplicação, tal como é o caso das telhas onduladas.

Devido às características específicas que deve apresentar uma telha, tais como leveza, encaixe rápido e, principalmente, estanqueidade (impermeabilidade), a mistura deve ser “rica” em cimento, ou seja, o consumo de cimento é mais elevado do que aquele que seria necessário para outras aplicações (pisos e blocos vazados).

Resultados e discussão

As partículas tratadas em hidróxido de sódio apresentaram uma coloração mais alaranjada em relação aos demais tratamentos, enquanto as demais apresentaram tonalidades claras, sendo semelhantes à cor inicial das partícu-

las de bambu. Dessa forma, provavelmente a solução de hidróxido de sódio foi mais efetiva na extração de constituintes do bambu, sem que isso chegue a ser, porém, um indicativo de que o tratamento seria mais eficiente para permitir melhor compatibilidade química com o cimento.

Após serem efetuados os tratamentos das partículas de bambu em soda cáustica ou em cal hidratada deve-se observar o procedimento para eliminação dos resíduos, que podem ser prejudiciais ao meio ambiente. No caso do tratamento em água quente não ocorreria esse problema, além de este ser um tratamento mais fácil de ser executado no meio rural, embora envolva a questão do suprimento de energia para o cozimento, a qual poderia ser originária da própria biomassa vegetal (restos de ramos e folhas de bambu)

Os referidos tratamentos tiveram como finalidade diminuir a incompatibilidade química entre as partículas de bambu e o cimento, devido, principalmente, à presença de amido armazenado nas células parenquimáticas do bambu.

PROPRIEDADES FÍSICAS DAS PARTÍCULAS DE BAMBU - O valor do módulo de finura (MF) permitiu classificar as partículas de bambu como sendo equivalentes a um “agregado – areia” de textura média (tabela 2). Os ensaios de absorção de água e do teor de umidade permitiram prever o comportamento das partículas de bambu quando fossem misturadas à pasta de cimento. De uma forma geral, as partículas de bambu têm a capacidade de, após a absorção, duplicar sua própria massa, devendo tal fato ser considerado quando da preparação das misturas. Quanto à massa específica aparente, o valor obtido foi de cerca de 10% daquele da areia normal, denotando a vantagem em se efetuar a substituição parcial da areia pelas partículas de bambu, permitindo a obtenção de componentes mais leves, como seria o caso de telhas onduladas, por exemplo.

Tabela 2. Caracterização do bambu: MF: módulo de finura; h (%): teor de umidade; ρ (g/cm³): massa específica aparente e A (%): absorção de água

	MF	h (%)	ρ (g/cm ³)	A(%)
Média	2,45	2,68	0,14	122,50
Desvio padrão	0,20	0,41	0,01	4,95
Coefficiente de variação (%)	8,16	15,44	7,14	4,04

Na tabela 3, apresentam-se os resultados de absorção de água pelos compósitos, segundo os tratamentos descritos na tabela 1. A absorção de água

pelos compósitos referentes aos tratamentos com cimento Portland CP II-E-32 (T10, T11 e T12) mostrou-se mais elevada do que aquela referente aos tratamentos T07, T08 e T09, devido à maior quantidade de partículas presentes na primeira. Essa mesma relação, de forma geral, não ocorreu para os tratamentos com cimento Portland CP V ARI, pois os tratamentos T01, T02 e T03 apresentaram absorção de água mais elevada do que a dos tratamentos T05 e T06, o que não era esperado, pois a absorção de água deveria aumentar com o aumento do teor de fibras. Dentre os compósitos com menor proporção de partículas de bambu (5%), observa-se que os tratamentos T07 e T09 apresentaram as menores absorções. Tal fato deve-se, provavelmente, ao tipo de tratamento preliminar que a fibra recebeu antes de se efetuar a mistura (soda cáustica e cal hidratada, respectivamente). Tais tratamentos podem ter sido mais eficientes para minimizar a inibição do cimento devido aos extrativos presentes nas partículas vegetais. Outra hipótese refere-se ao provável efeito de encapsulamento proporcionado pelos materiais alcalinos na superfície das partículas de bambu, permitindo a criação de “pontos” de ancoragem com os constituintes do cimento, principalmente o silicato de cálcio. De toda forma, pode-se observar que todos os tratamentos permitiram a obtenção de compósito cuja absorção de água se mostrou inferior àquela dos materiais cerâmicos (da ordem de 15%), o que seria um bom indicativo para utilização dos compósitos na fabricação de telhas, por exemplo.

Tabela 3. Absorção d'água pelos compósitos de CP V ARI (T01 a T06) e CP II-E-32 (T07 a T12), com 5% e 8% fibras tratadas

Tratamento	Absorção (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
T01	11,07	0,43	3,87
T02	10,69	0,52	4,89
T03	9,75	0,35	3,61
T04	11,22	0,39	3,51
T05	9,62	0,19	1,99
T06	9,21	0,03	0,31
T07	6,27	0,54	8,61
T08	7,22	0,33	4,53
T09	6,27	0,27	4,29
T10	10,36	0,36	3,44
T11	11,17	0,35	5,81
T12	9,78	0,22	2,23

AValiação dos Compósitos por Ultrassom – Velocidade do Pulso Ultrassônico (VPU) -

Observou-se, de um modo geral, uma elevação considerável na magnitude da VPU até a idade de 7 dias, a partir da qual percebe-se a tendência à estabilização das curvas. Provavelmente a secagem dos corpos de prova fez com que fosse interrompida a hidratação do cimento, motivo pelo qual a VPU se mostra praticamente constante para as idades de 14 e de 28 dias. Outra hipótese é a de que as novas mudanças na estrutura do compósito não sejam mais passíveis de detectar pelo tipo de equipamento utilizado. Na figura 1, verifica-se que para o cimento CP-V-ARI não se observou efeito significativo do tipo de tratamento aplicado às partículas de bambu sobre a magnitude da VPU, enquanto que, para o cimento CP-II-E-32, a melhor resposta foi obtida com o tratamento de lavagem das partículas em solução de cal. Quanto ao teor de partículas, observou-se maior magnitude da VPU quando da utilização do teor de 5%.

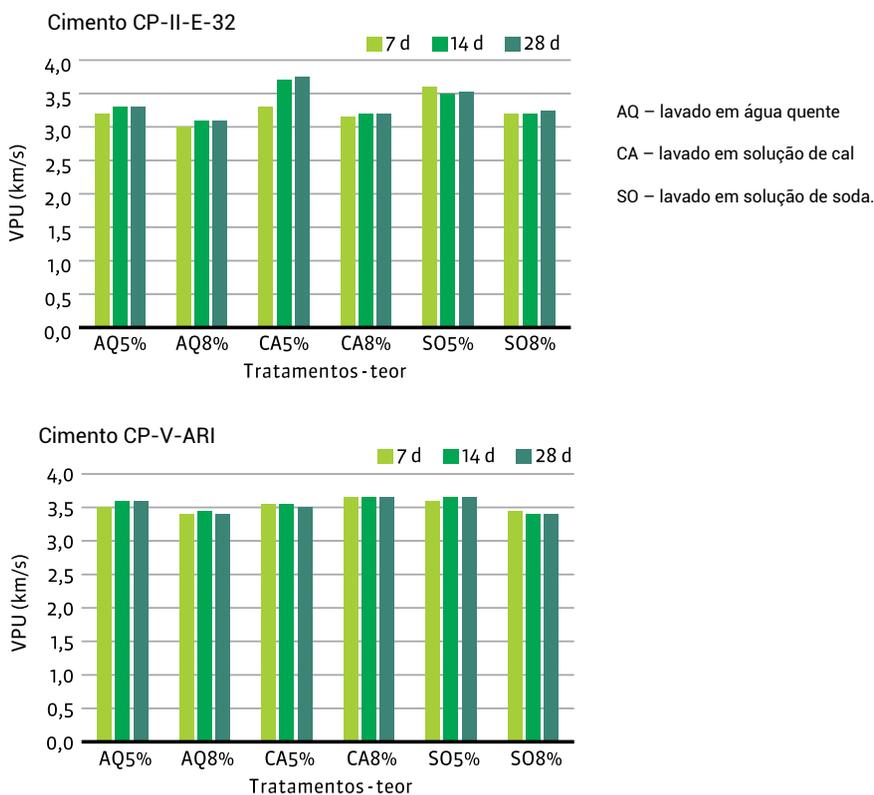


Figura 1. Velocidade do pulso ultrassônico (VPU, em km/s) em função da idade, do tipo de tratamento realizado e do teor de partículas de bambu (%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - Na compressão simples observou-se um ligeiro aumento na resistência à compressão simples com o aumento da idade do corpo de prova, porém em alguns tratamentos ocorreu uma estabilidade nos resultados do ensaio de compressão simples a partir da idade de 14 dias (figura 2). Também, de uma forma geral, nota-se que à medida que aumentou o teor de partículas de bambu diminuiu a resistência à compressão simples do compósito (exceção T10 – CP-II-E-32 com teor de 8% de partículas de bambu tratadas em soda cáustica), corroborando os resultados da VPU. Alguns tratamentos, sobretudo para compósitos com CP-V-ARI, permitiram alcançar valores superiores a 15 MPa, similares ao do concreto confeccionado de forma artesanal.

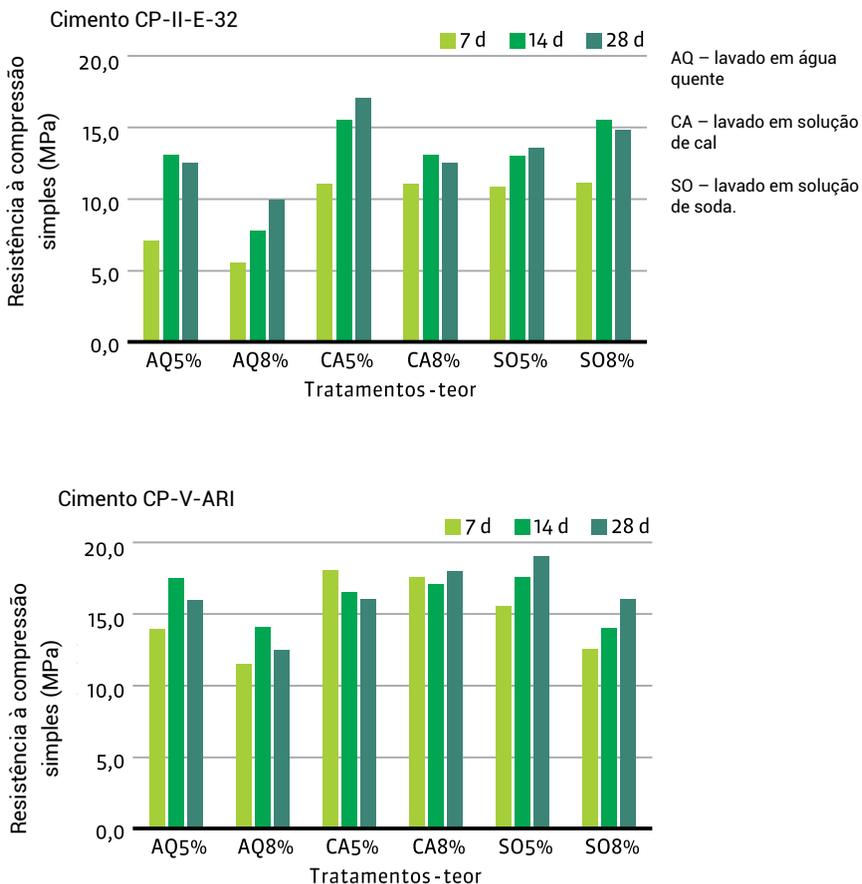


Figura 2. Resistência à compressão simples (MPa) em função da idade (dias), do tipo de tratamento realizado e do teor de partículas de bambu (%)

A mesma tendência anterior pôde ser observada nos resultados do ensaio de compressão diametral (figura 3). Além disso, notou-se que o compósito apresenta uma razão mais elevada do que o concreto, quando se comparam as resistências em compressão simples em relação à compressão diametral. A resistência à tração (obtida por meio do ensaio de compressão diametral) é um indicador adequado de todos os tipos de solicitações e normalmente existe uma relação direta entre ela e a resistência à compressão simples. Para corpos de prova à base de cimento (argamassa e concreto) normalmente a razão entre as resistências à compressão diametral e à compressão simples é da ordem de 0,10. Todos os tratamentos aplicados ao compósito superaram o referido valor adotado como comparação. Além disso, com exceção do tratamento To6 (cimento ARI, com 8% de partículas de bambu tratadas em solução de cal), ocorreu um aumento desta razão com o aumento do teor de fibras utilizado.

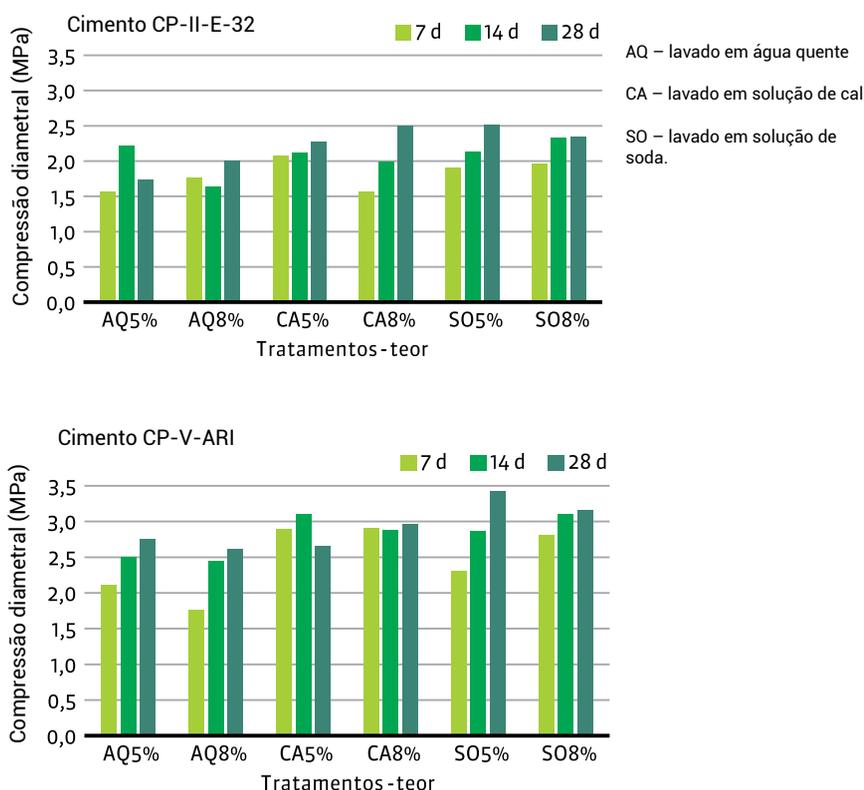


Figura 3. Resistência à compressão diametral (MPa) em função da idade (dias), do tipo de tratamento realizado e do teor de partículas de bambu (%)

ANÁLISE ESTATÍSTICA - A análise de variância (ANOVA) detectou os fatores (tratamento aplicado às partículas, o teor de partículas, o tipo de cimento e a idade do corpo de prova) e as interações que influenciaram as propriedades físico-mecânicas estudadas no compósito. Na tabela 4, apresenta-se um sumário dos resultados obtidos.

Tabela 4. Sumário dos resultados obtidos

Propriedade avaliada	Tratamento			Teor de partículas		Tipo de cimento		Idade (dias)		
	AQ	CA	SO	5%	8%	CP-II	ARI	7	14	28
VPU (km/s)	3,31a	3,43b	3,43b	3,49a	3,28b	3,30a	3,48b	3,37a	3,41b	3,41b
Absorção (%)	9,68a	8,75b	9,73a	8,54a	10,22b	8,51a	10,26b	-	-	-
Compressão simples (MPa)	11,83a	15,03b	14,43b	14,66a	12,92b	11,99a	15,59b	12,24a	14,54b	14,59b
Compressão diametral (MPa)	2,08a	2,52b	2,48b	2,34a	2,38b	2,01a	2,71b	2,12a	2,41b	2,56c

Legenda: AQ (lavadas em água quente); CA (lavadas em solução de cal); SO (lavadas em solução de soda)
Médias seguidas da mesma letra na horizontal, para cada propriedade, indicam que não houve diferença estatística entre as médias ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Dessa forma, analisando-se o conjunto das propriedades desejáveis para o compósito, pode-se constatar que os fatores mais importantes foram: tratamento das partículas em solução diluída de cal; teor de partículas de 5%; cimento CP-V-ARI e cura de 14 dias.

Embora na investigação tenha sido adotado o traço de 1:3 (em massa) de cimento: areia, na fabricação das telhas onduladas adotou-se a dosagem (em massa) de 1:2 (cimento e areia, em massa). Essa modificação visa à obtenção de um compósito com maior compacidade (menor permeabilidade), que é uma característica fundamental desejável para uma telha.

O teor de água deve ser ajustado no momento da fabricação da telha, pois tal valor depende muito da eficiência do dispositivo vibratório, além da composição da mistura propriamente dita.

O teor de biomassa vegetal deve ser muito limitado, pois o volume por ela ocupado na mistura é muito elevado, o que acabaria prejudicando o desempenho da telha devido à elevada porosidade introduzida. Dessa forma, adotou-se o traço 1:1,8:0,2:0,55 (em massa).

A espessura da telha (6 a 10 mm) é dada pela espessura da chapa metálica do quadro. Para controlar a densidade das telhas, o ideal seria confeccionar

um dosador cujo volume fosse equivalente ao da fôrma existente na mesa vibratória. Dessa forma, conhecendo-se o volume (ou a massa) da mistura suficiente para, após a vibração, preencher totalmente a fôrma, diminui-se a possibilidade de serem fabricadas telhas heterogêneas quanto à espessura.

PRODUÇÃO DE TELHAS ONDULADAS - Na figura 4, apresenta-se uma máquina destinada à fabricação de telhas onduladas, com base em informações divulgadas pela SKAT (1989; 1991), conforme descrito por Pimentel (2000). O quadro principal foi construído em metalon (tubo de seção quadrada). À esquerda, nota-se a trava metálica que fixa o quadro móvel, no qual se coloca o compósito. Na parte inferior, observa-se o motor com a polia, a qual está conectada a um eixo excêntrico (para que ocorra a vibração), permitindo o espalhamento adequado do compósito. Inicialmente se colocou um plástico resistente à tração no fundo da fôrma, tal como aquele proveniente de embalagens de ração para cães, ou de faixas publicitárias. Com uma desempenadeira metálica, distribuiu-se a mistura na fôrma enquanto ocorria a vibração. Cerca de 1 a 2 min após o início da vibração, observava-se se ainda existiam bolhas sendo formadas na superfície da mistura. Caso não fossem mais observadas, na região que serviria para o engaste da telha com a estrutura de madeira, produziam-se dois pequenos orifícios que, posteriormente, teriam a função de servir para a amarração da telha nos sarrafos de madeira da estrutura do telhado. A seguir, destravava-se a fôrma e deslizava-se lentamente a mistura sobre a fôrma de fibra de vidro (de PVC ou metálica), destinada a conformar a telha após o endurecimento da mistura.

A seguir, transportava-se a telha para um local protegido do sol e do vento. A lateral das fôrmas apresenta um reforço de madeira, permitindo que sejam empilhadas cerca de 10 telhas. Dessa forma, cobria-se apenas a telha da parte superior com plástico, pois as demais já estariam protegidas. Após 24 h da fabricação, retiravam-se as telhas das fôrmas e iniciava-se o processo de cura. Durante 7 dias, as telhas devem ser colocadas em local úmido, ou mesmo podem ser imersas em água.





Figura 4. Equipamento utilizado na produção de telhas onduladas

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS TELHAS ONDULADAS - Dois são os ensaios que visam à caracterização físico-mecânica das telhas onduladas:

TESTE DE PERMEABILIDADE: encheu-se uma proveta com água e inverteu-se a mesma, posicionando-a sobre a telha, previamente apoiada em suportes elevados. Não foram observadas manchas ou vazamentos na telha, evidenciando o seu bom comportamento no ensaio. Outra possibilidade é utilizar um material impermeável (epóxi ou silicone) e com ele produzir um pequeno reservatório, cujo fundo seja constituído pela telha (figura 5a).

As primeiras telhas de compósito similar foram produzidas na Unicamp em junho de 1999. Portanto, até o presente momento, já ficaram expostas mais de 17 anos, não tendo sido observadas manchas, indicando sua estanqueidade. Além disso, um pequeno ninho de abelhas na face inferior da telha atesta o seu bom comportamento térmico (figura 5b).

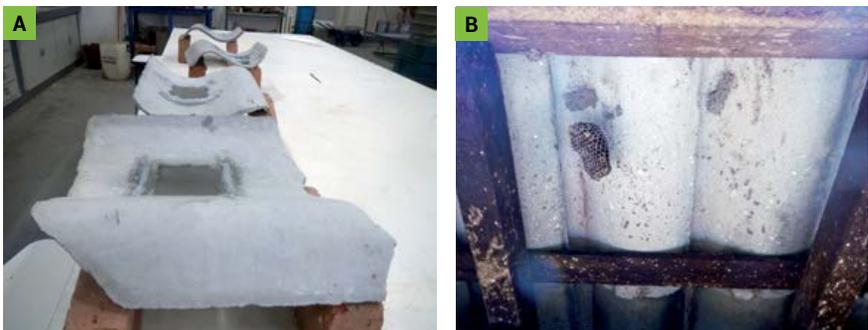


Figura 5. (A) Ensaio de permeabilidade da telha;
(B) Telha após 17 anos de exposição

ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA: a telha foi apoiada em suportes almofadados que se encaixavam perfeitamente no seu perfil, tanto nos apoios como nos cutelos de distribuição da carga (figura 6). As telhas ensaiadas na condição saturada suportaram cargas de 640 N (controle) e 587 N (com partículas de bambu), atendendo às recomendações da SKAT (1991); Gram & Cut (1994), de carga igual ou superior a 500 N (secas) e 450 N (saturadas). Os valores obtidos foram similares àqueles de Beraldo et al. (2003), que obtiveram cargas da ordem de 600 N para telhas onduladas confeccionadas com argamassa de cimento e partículas de bambu, utilizando o traço de 1:1,5:0,125:0,62 (em massa).



Figura 6. Ensaio de flexão aplicado à telha ondulada

Pimentel (2000), por sua vez, obteve cargas de 495 N (partículas de *Pinus* parafinadas) e 535 N (serragem natural), com adição de cloreto de cálcio (3% em relação à massa de cimento), sendo ambas as cargas inferiores ao controle (745 N). A autora observou maior tenacidade (maior capacidade de deformação antes da ruptura) das telhas cuja matriz foi modificada pela adição das partículas vegetais.

Savastano Jr et al. (1999) avaliaram as características de telhas onduladas similares, adotando como matriz o cimento com escória de alto forno. Como biomassa vegetal, os autores utilizaram polpa de eucalipto, fibra de coco e composição de fibra de sisal com polpa de eucalipto (50% cada). A matriz referência foi de 1:1,5:(0,40-0,48), em massa. O teor de biomassa foi de 2%. No ensaio de flexão, a telha controle suportou 672 N, enquanto que as demais suportaram entre 454 N (fibra de coco) e 629 N (polpa de eucalipto).

No entanto, deve-se ressaltar que o valor de carga suportada também deve estar atrelado à espessura da telha, sendo a recomendação da SKAT relativa à telha de 8 mm de espessura. Por outro lado, essa é uma espessura nominal, sendo observado que tal valor se mostra muito variável quando são medidos diversos pontos da telha.

ENSAIO NÃO DESTRUTIVO POR ULTRASSOM: embora tal ensaio não seja usualmente empregado na caracterização das telhas onduladas, recomenda-se que sejam confeccionados corpos de prova prismáticos (40 mm x 40 mm x 160 mm, NBR 13279) com a mesma mistura das telhas e que também sejam vibrados no mesmo equipamento utilizado em sua fabricação. Durante 14 dias, recomenda-se avaliar a velocidade do pulso ultrassônico (VPU), buscando-se a obtenção de valores tais que possam servir como controle de qualidade.

DURABILIDADE - Após o tratamento aplicado às partículas de bambu, grande parte dos seus extrativos é eliminada, o que permite teoricamente aumentar a durabilidade do compósito com cimento Portland. Embora seja necessário aplicarem-se ensaios para comprovar essa hipótese, realizou-se uma avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV) de compósitos similares, após 10 anos em ambiente protegido (figura 7a) e após 17 anos de exposição às intempéries (figura 7b). Conforme se pode observar, as partículas de bambu ainda se encontram em bom estado, mantendo, aparentemente, sua integridade física denotando, portanto, a adequação de seu emprego em compósitos cimentícios.

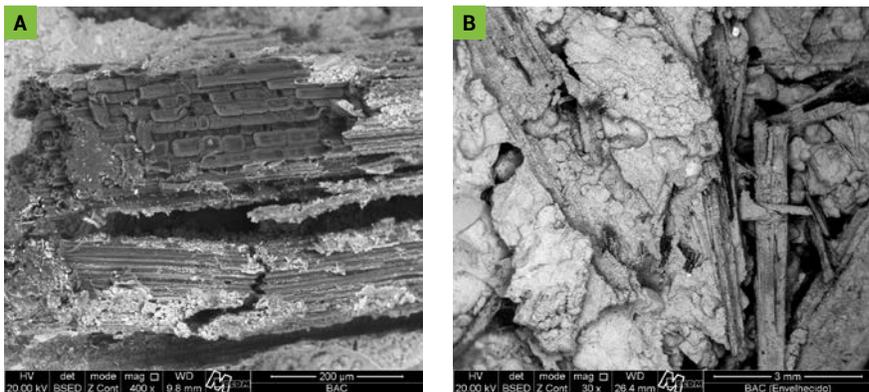


Figura 7. (A) Compósito de argamassa de cimento Portland e areia com partículas de bambu em ambiente protegido; (B) o mesmo compósito após 17 anos de exposição às intempéries

Conclusões

1. Compósitos de argamassa de cimento Portland e areia, modificada pela adição de partículas de bambu, apresentam características tais que os qualificam para a execução de obras sujeitas a pequenas solicitações, típicas de algumas construções rurais, como é o caso de telhas onduladas.
2. Os ensaios aplicados aos compósitos permitiram detectar o efeito dos tratamentos aplicados às partículas de bambu, assim como avaliar a influência do teor de partículas utilizadas nas misturas e do tipo de cimento utilizado como matriz.
3. Considerando os resultados da caracterização físico-mecânica dos compósitos, interpretados estatisticamente, pode-se indicar o compósito para a fabricação de telhas onduladas.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7217. **Agregados – determinação da composição granulométrica**. ABNT: Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5733. **Cimento Portland de alta resistência inicial**. ABNT: Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 11578. **Cimento Portland composto**. ABNT: Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7222. **Concreto e argamassa – determinação da tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. ABNT: Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7215. **Resistência à compressão do cimento Portland**. ABNT: Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13279. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. ABNT: Rio de Janeiro, 2001.
- BERALDO, A.L.; CHEN, F.K.C.H.; AZZINI, A. Telhas onduladas bambu-cimento. In: **III ENECS – Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis**. ANAIS. São Carlos, 2003. Publicado em CD-Rom.
- BERALDO, A.L. Compuestos de biomassa vegetal y cemento. In: Borrás V.A.; Savastano Jr, H.; Arjona S.D.; Ramirez A.M. (Orgs.). **Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción**, p.301-326. Valencia: Universidad Politécnica, 2011.
- GRAM, H; CUT, P. Directives pour le contrôle de qualité. **St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pédagogique TFM/TVM**, Outil 23, 1994.

- PEREIRA, M.A. dos R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6 Editora, 2007.
- PIMENTEL, L.L. Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de *Pinus caribaea*. Dissertação de Mestrado. Campinas, FEAGRI - UNICAMP, 2000.
- SAVASTANO JR, H.; AGOPYAN, V.; NOLASCO, A.M.; PIMENTEL, L.L. Plant fibre reinforced cement components for roofing. **Construction and Building Materials**, v. 13, p.433-438, 1999.
- SKAT- Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management. **Manual Técnico: Información Básica sobre Techos de Micro Concreto y Fibro Concreto**, v. 10, p. 2-3, 1989.
- SKAT- Centre de Coopération Suisse pour la Technologie et le Management. **Document Normatif: Tuiles en mortier vibro**, 1991. Site <www.apuama.org>. Acesso em 01 jul. 2015.





Quiosque de bambu do projeto do Parque do Tucumã em Rio Branco, Acre

*Carolina Pacheco Sgorla⁽¹⁾ e
Marlúcia Cândida de Oliveira Neves⁽¹⁾*

⁽¹⁾ Governo do Estado do Acre. E-mails: carolinasgorla@hotmail.com, marluciacandida@hotmail.com

Resumo – Este trabalho refere-se ao projeto e execução de um quiosque com estrutura de bambu, localizado no Parque do Tucumã na cidade de Rio Branco, capital do estado do Acre. Para a sua realização, foi criado um grupo reunindo profissionais e operários de diversas áreas. O projeto incluiu estudos de caso para testar formas de secagem e a resistência do bambu, além de cursos para capacitar os técnicos envolvidos e incentivar o uso da matéria-prima. Como parte da pesquisa, realizamos entrevistas com os participantes do processo e contamos com parcerias importantes de especialistas de outros estados que compartilharam suas experiências. Concluímos que o uso do bambu na construção civil em Rio Branco incentivou favoravelmente a exploração da planta – que está presente de forma abundante no Acre, mas muitas vezes é vista como praga por populações locais –, contribuindo para o avanço das pesquisas sobre essa espécie com vistas ao seu uso na indústria e à adoção do *design* e de novas tecnologias para agregar valor a essa matéria-prima.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: GUADUA SPP., TABOCA, BAMBU, RENOVÁVEL, CONSTRUÇÃO CIVIL.



The bamboo kiosk at the Tucumã Park Project in Rio Branco, Acre

Abstract – This work refers to the design and execution of a kiosk with a bamboo structure, located in the Tucuman park in Rio Branco, capital of the State of Acre in the north of Brazil. For its execution, a group formed by workers and technicians from several different areas was created. The project included case studies to test different ways of treating and drying bamboo and assess its resistance, in addition to special workshops to train the technicians involved and encourage the use of this raw material. As part of our research, we carried out interviews with those involved in the process and established important partnerships with bamboo specialists from other parts of Brazil who shared their expertise. We conclude that the use of bamboo in construction in Rio Branco has favorably encouraged the use of this plant – which is abundant in the state of Acre, but often held as a plague by locals – and contributed for the advance in research for its use in industrial areas, as well as the adoption of clever designs and new technologies to add value to such a sustainable raw material.

INDEX TERMS: GUADUA SPP., BAMBOO, RENEWABLE, CONSTRUCTION.

Introdução

A construção de um quiosque de bambu associado ao projeto de ampliação do Parque do Tucumã, localizado na cidade de Rio Branco, no estado do Acre, surgiu do interesse do governo do estado do Acre em pesquisar e aplicar nessa construção a espécie nativa *Guadua* spp. Esta espécie é conhecida popularmente na região como taboca ou bambu. As espécies *Guadua superba*, *Guadua weberbaueri*, *Guadua sarcocarpa* são espécies amazônicas.

O bambu *Guadua* spp. é uma espécie de bambu gigante entouceirante, arborescente, de elevado porte, com espinhos nas gemas, lenhoso, com elevadas propriedades mecânicas – para uma fibra natural – e grande durabilidade natural dos colmos. A expressão “spp” após o nome do gênero representa que o mesmo tem diversas espécies, e esta ainda não é conhecida (Murad, 2011).

Para Pereira e Beraldo (2007), no Brasil há ocorrência de 34 gêneros e 232 espécies de bambu nativo, sendo 16 gêneros do tipo herbáceo (ornamental) e 18 gêneros do tipo lenhoso. E acrescentam que os bambus pertencem à família Graminae e subfamília Bambusoideae, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família Bambusaceae.

Dentre os bambus lenhosos destacam-se os gêneros: *Merostachys*, *Chusquea* e *Guadua*. Espécies de bambu pertencentes ao gênero *Guadua* ocorrem na Amazônia (Acre e Pará), sendo denominadas localmente por taboca. Estudos realizados no Projeto Radam, por meio de imagens de satélites, determinaram a existência de aproximadamente 7 milhões de hectares de bambus nativos no estado do Acre, com destaque para a espécie *Guadua weberbaueri* (Pereira & Beraldo, 2007).

Segundo Silveira (2006), a espécie *Guadua* spp. ainda não foi identificada taxonomicamente. Em levantamento realizado pela FUNTAC (2010), na região da Reserva Extrativista Chico Mendes, em Assis Brasil, numa parcela de 100 x 100 m, essa espécie apresentou uma característica morfológica de: altura de 14,5-35 metros; diâmetro médio de 6,2 cm; ocorrência de 1594 colmos p/hectare.

O Parque do Tucumã está localizado entre a área da Universidade Federal do Acre (UFAC) e a faixa de domínio da BR-364. Esta via dá acesso ao aeroporto, ao interior do estado e ao restante do país. É um importante ponto de lazer da capital, com pistas de caminhada, vias para ciclistas e paisagens naturais compostas por lagos. Portanto, foi uma excelente oportunidade para dar visibilidade a esse trabalho inovador.

Em 2013, o governo do Acre iniciou a ampliação do Parque do Tucumã. A nova área agregou pistas de caminhada e ciclismo e equipamentos urbanos. Observada a necessidade de incorporar à obra do parque um quiosque, vimos a oportunidade de trabalhar com um material ainda pouco utilizado no estado: o bambu.

O primeiro passo foi compor uma equipe multidisciplinar integrada por arquitetos, *designers*, engenheiros florestais, civis e agrônomos, construtores civis e pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). As ações para implantar o projeto foram coordenadas pelas autoras do presente estudo. Para tal, as arquitetas puderam contar com a consultoria de profissionais experientes no manuseio da planta no Brasil e importantes parcerias para a capacitação da equipe executora das obras – fundamental para dominar o manuseio o bambu e agregar conhecimento de outros estados, como Minas Gerais e São Paulo, além de possibilitar a adaptação e a utilização dessas técnicas à realidade climática do Acre. Segundo o pesquisador José Roberto Murad:



O bambu apresenta baixo consumo de energia e baixo custo de produção, além de ser um material renovável e ecológico. É um material potencialmente promissor que vem mostrando grandes qualidades para a construção civil. Nos últimos anos têm sido desenvolvidos vários programas de investigação para o emprego do bambu e outras fibras vegetais na construção de edificações de baixo custo, substituindo produtos de asbesto, aço, cimento e outros materiais poluentes e não renováveis (Murad, 2011).

Existem no mundo inúmeros exemplos da utilização do bambu como matéria-prima na construção civil. Os principais motivos são sua resistência, durabilidade e capacidade de renovação. O estado do Acre possui uma das maiores florestas abertas de bambus nativos do mundo. O pesquisador Dixon Afonso comenta que as florestas abertas com bambus do gênero *Guadua* cobrem cerca de 180.000 km² no norte do país. A área abrange o oeste do estado do Amazonas, o Acre, o nordeste do Peru e o norte da Bolívia, constituindo a maior floresta nativa contínua de bambus no mundo.

Diante da abundância da matéria-prima, a implantação deste projeto busca motivar o governo do Acre a investir em pesquisa e utilização desse material, tanto na produção de artefatos como na construção civil. Um dos objetivos da escolha do bambu para construir o quiosque foi fomentar o uso adequado da planta em construções públicas e privadas.

Para Roberval Bráz Padovan (2010), o bambu é um exemplo de como materiais renováveis e de rápido crescimento vêm ganhando terreno na atualidade. Isso decorre tanto dos altos custos dos materiais de construção tradicionais quanto de seu impacto ambiental e da falta de sustentabilidade em seu uso contínuo – abrindo caminho para novas tecnologias sustentáveis.

Pesquisas sobre o bambu ressaltam seu rápido crescimento como um fator que torna a planta uma opção vantajosa para obras de construção civil. Além disso, o manejo praticado de forma correta facilita a colheita e a padronização do produto e o torna mais viável economicamente.

A obra do quiosque foi importante para aumentar o conhecimento sobre o seu uso entre a população da cidade e assim incentivar o seu uso como material regional e renovável. Mas, além de incentivar a exploração da planta, nosso objetivo era promover o desenvolvimento das diversas áreas da cadeia necessária para tal: o manejo florestal para gerar emprego e renda da população local; o avanço nas pesquisas para o uso do bambu na indústria e construção civil; e o desenvolvimento de técnicas de *design* com a planta e de diferentes formas de uso para agregar valor a essa matéria-prima.

Material e métodos

Durante a construção do quiosque, surgiram muitas ideias, discussões e soluções entre a equipe, até se chegar ao modelo arquitetônico desejado. Algumas dúvidas quanto à estrutura, à quantidade de varas necessárias, ao tamanho adequado e ao correto tratamento para conservar o bambu precisaram ser resolvidas com pesquisa mais especializada. Esses cuidados aumentaram o tempo de execução da obra para um total de doze meses, sendo metade deste tempo dedicado apenas à construção da estrutura de bambu.

Dixon Afonso, pesquisador e tecnólogo de construção civil da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (Funtac) e um dos participantes do grupo de execução da obra, aponta que o uso do bambu na construção civil ainda é algo incipiente no Brasil devido à falta de mão de obra especializada.

O estado do Acre tem um histórico pequeno, mas muito relevante, pois as obras realizadas tiveram uma boa repercussão junto à comunidade, a exemplo da área de exposição do Sebrae em 2005, na Expoacre, e do Parque Ambiental de Sena Madureira, construído em 2007. A execução dessa obra permanente, em Rio Branco, denota uma postura inovadora da cultura arquitetônica com um olhar amazônida, através da utilização dos recursos de nossa biodiversidade, e que retrata uma peculiaridade de nosso povo (Entrevista via e-mail, Afonso, 2015).

Para Elias Miranda, pesquisador da Embrapa no Acre, a obra do quiosque foi uma excelente vitrine para as possibilidades de uso do bambu, e isso em um ponto estratégico da cidade. “Sem dúvida incentivará tanto o poder público como o privado na realização de novas obras com o bambu, contribuindo para a consolidação da cadeia produtiva da planta no Acre”, afirmou Miranda, também integrante do grupo executor, após a finalização do projeto (entrevista via e-mail, 2015). A importância de acompanhar de perto todas as etapas foi ainda ressaltada por outro membro do grupo, o engenheiro civil Flavio Calixto, do Departamento de Estradas e Rodagem do Acre (Deracre):

O acompanhamento da execução da obra permitiu à equipe superar todas as adversidades de um projeto com material alternativo. O processo possibilitou o entendimento das patologias da estrutura e, por meio da avaliação passo a passo, identificar as possíveis falhas do processo e auxiliar na criação dos mais adequados sistemas construtivos. A execução da obra permitiu demonstrar a segurança e resistência das estruturas de bambu na edificação, além de possibilitar que a equipe técnica adquirisse o conhecimento das técnicas adequadas (Entrevista via e-mail, Calixto, 2015).



As figuras 1 e 2 apresentam fotos da estrutura durante a construção do quiosque em 2014.



Figura 1. Imagem aérea da obra do quiosque de bambu em Rio Branco, Acre



Figura 2. Imagem da estrutura inicial do quiosque mostrando os bambus presos aos pilares de concreto

O partido arquitetônico do projeto foi inspirado em várias construções de bambu no mundo, especialmente na arquitetura da Colômbia e da Indonésia. Durante o projeto, foi indispensável a elaboração de várias maquetes para chegar a seu amadurecimento, desenvolvidas pela arquiteta Carolina Pacheco Sgorla, da pós-graduação em arquitetura do Instituto de Pós-Graduação (Ipog), e Bruno Imbroisi, *designer* da Embrapa. Como metodologia auxiliar, foram realizadas várias reuniões com o grupo de trabalho para discussão e ajustes do projeto, o que determinou algumas alterações – por exemplo, no número de pilares de bambu para apoiar a estrutura da cobertura; e na escolha da telha. Inteiramente estruturada com bambu, a construção pedia uma cobertura com material natural e próprio da região, para garantir maior conforto térmico e uma ligação com a arquitetura regional. Portanto, optou-se pela telha de cavaco de madeira do tipo cedro, que é uma das usadas nas casas dos seringueiros da Amazônia. Segundo Neves (2007), o cavaco não esquentava como a telha de alumínio e não goteja com a facilidade da cobertura de palha, além de durar mais tempo que esta última.

É indicada para a telha de cavaco a inclinação de 45° para um bom escoamento das águas pluviais. Na obra do quiosque, essa inclinação resultou em um pé-direito alto, que se iniciou aproximadamente com três metros e em seu ápice chegou a seis metros de altura, como se vê na figura 3. Para uma região de clima quente e úmido como o Acre, isso favorece a ventilação e o conforto térmico no espaço, ressalta Neves (2007). Além disso, o uso da telha de cavaco valoriza a produção local e harmoniza o conjunto da obra com o seu entorno, dialogando com a proposta do parque de aproximar o homem da natureza e promover um estilo de vida saudável. O resultado pode ser visto no panorama da figura 4.

ATENDENDO AO OBJETIVO SOCIAL DO PARQUE - Com a ampliação do Parque do Tucumã, verificou-se a necessidade de um espaço onde as pessoas pudessem descansar após a caminhada, sentar-se confortavelmente e tomar uma água ou fazer um lanche. O objetivo do quiosque era sanar essa deficiência. O local escolhido, uma esquina elevada, pareceu ser o ideal, com sua vista privilegiada para o entorno, cercado de árvores e de um lago. Seguindo as orientações da Secretaria de Obras Públicas do Acre, desenvolveu-se uma construção com três ambientes diferentes sob o mesmo teto. A solução para atender esse objetivo foi criar um modelo de cobertura com cinco águas (ou seja, cinco “lados” no telhado a partir do ponto mais alto), na forma geral de um triângulo, como se observa nas figuras 1 e 4.

FOTO: CAROLINA PACHECO SEGOBIA, (2014)



Figura 3. Colocação da telha de cavaco na cobertura do quiosque

FOTO: PEDRO DEVANI (2014)



Figura 4. Imagem aérea do quiosque de bambu com a telha de cavaco, projetado com cinco águas e em formato triangular

CUIDADOS NECESSÁRIOS PARA FIXAR A ESTRUTURA DE BAMBU - Os pilares de bambu precisariam estar elevados do chão. É necessário proteger as varas de bambu nas extremidades superiores e inferiores, sempre, como ensina o arquiteto colombiano especialista em estruturas com bambu, Simón Vélez:

Uma das primeiras coisas para projetar uma estrutura de bambu é que tenha "boas botas e um chapéu grande", como diz Simón Vélez. É preciso sempre manter o próprio bambu fora de contato com a umidade, chuva ou radiação solar direta. Um fundo úmido pode causar putrefação ou perda de resistência. A ação direta do sol leva a mudanças de cor, tal como o branqueamento da superfície. O bambu também precisa de tratamentos contra a fungos deteriorantes, insetos, cupins e brocas (original em inglês, tradução livre; Vélez, 2000).

Portanto, foram projetados na obra do quiosque pilares de concreto para a base da estrutura, como é mostrado nas figuras 5 e 6, com diâmetro de 50 cm e altura de um metro. São colunas circulares de concreto que recebem os bambus e sustentam a cobertura, inspirados nas construções colombianas de bambu feitas pelo arquiteto Simón Vélez. Elas acompanham harmoniosamente a altura do peitoril das esquadrias, de onde surge uma chapa 3/8 em meia-lua para que as barras dobradas dentro do bambu sejam conectadas ao pilar central de concreto. Esse pilar central apoia de quatro a cinco varas de bambu até a estrutura da cobertura.



Figura 5. Estrutura dos pilares de concreto e bambu para estrutura da cobertura do quiosque



Figura 6. Conexão do pilar de concreto com os bambus estruturando a cobertura

FOTO: CAROLINA MACHICO SORIBIA (2019)

A tipologia das juntas ou conexões dos pilares foi elaborada pela arquiteta Carolina Pacheco Sgorla, pelo *designer* Bruno Imbroisi e por Gilberto Bessa, gerente e mestre de obras da empresa Coluna Construções, de Rio Branco. Bessa, que trabalha na construção civil há 30 anos, diz ter sido essa a sua primeira experiência com bambu. Seu trabalho foi de extrema importância para a realização da obra. Para Imbroisi, a expertise de Bessa em trabalhos com ferro permitiu o desenvolvimento da junta modular. “Esta se adequou ao estilo arquitetônico, permitindo a necessária área de circulação e distribuição das forças conforme necessidade do cálculo estrutural”, afirma Imbroisi (entrevista via e-mail, 2015).

Outros pilares seguindo esses parâmetros foram colocados nas pontas da cobertura, como demonstrado na figura 5, no caso apoiando seis varas de bambu. Quando a estrutura de bambu ficou pronta, iniciou-se a colocação das telhas de cavaco de madeira e novos testes de carga foram realizados. Optou-se por adicionar dois novos pilares de concreto de 50 cm de altura, para auxiliar no apoio da estrutura. Estes estão apoiados em uma base redonda de concreto com uma abertura no centro. Essa abertura no centro recebe a água da chuva por meio de correntes que direcionam a água ao centro do pilar para escoamento. Além disso, há dois pilares de bambu que saem dessa estrutura reforçando o apoio do telhado.

DISPONIBILIDADE DA MATÉRIA-PRIMA NO CONTEXTO GEOGRÁFICO DO ACRE -

Depois das discussões e da elaboração de desenhos e maquetes para definir como seria o projeto, o próximo passo foi verificar qual seria o melhor local para a coleta dos bambus. Foram definidas as áreas de Assis Brasil e Porto Acre, no interior do estado. Nessas áreas, a Embrapa e a Funtac já vinham desenvolvendo ações desde 2008 e já haviam oferecido cursos de capacitação com moradores para o manejo correto do bambu *Guadua* spp.:

Entre as orientações repassadas aos agricultores estava a orientação quanto às técnicas de corte, preservação natural e secagem da planta. Na área de Assis Brasil, inclusive, foram dadas orientações por um viveirista do estado de São Paulo quanto à produção de muda com utilização dos rametes (extensões das gemas aéreas, de onde se origina os ramos de espinhos) (Entrevista via e-mail, Afonso, 2015).

Os trabalhos de inventário e de caracterização do bambu na região do Acre foram desenvolvidos pela Funtac. Suelem Pontes, engenheira florestal da fundação, destaca o trabalho conjunto com a população local:

Houve uma preocupação em envolver e capacitar os proprietários [de terra] nestas atividades. Buscaram-se em literatura os métodos adequados de extração do bambu, repassando a forma correta da execução do corte, quais os tipos de varas apresentavam características de maturidade e como retirar o material sem acarretar grandes impactos nas áreas (Entrevista via e-mail, Pontes, 2015).

Elias Miranda, da Emprapa, diz que as visitas técnicas para treinar as comunidades de ambas as localidades vêm sendo realizadas regularmente desde 2008. A capacitação contou com apoio da Associação Brasileira de Produtores de Bambu (Aprobambu), que patrocinou a vinda de um especialista colombiano para treinar moradores sobre técnicas de manejo e construção civil com bambu e incluiu a realização de um curso sobre movelaria com bambu. Essas ações foram importantes para promover o bambu nessas comunidades e facilitaram o contato com os fornecedores da matéria-prima. Essas são áreas de difícil acesso, pois os ramais (estradas vicinais de terra em sua maioria) enchem-se de atoleiros em época de chuva, dificuldade que vem sendo superada ao longo do tempo.

APRENDIZADO E MOTIVAÇÃO PARA AS COMUNIDADES ENVOLVIDAS - No início da obra do quiosque, entre o fim de 2013 e o começo de 2014, integrantes da nossa equipe foram até as localidades próximas aos municípios de Assis Brasil e Porto Acre para conversar com a comunidade e explicar a importância da iniciativa. Durante esse primeiro contato, chamou a atenção o desconhecimento da utilidade do bambu. O bambu, ou taboca, é visto como praga pelas pessoas da comunidade. A única utilidade vista por alguns dos que moram perto dos bambuzais e/ou andam pela floresta é aproveitar a planta para beber água – quebrando o entrenó, onde existe água, que é limpa/potável – e saciar a sede.

A equipe observou algumas cercas e calhas feitas de bambu nas casas próximas aos bambuzais. Porém, como o material não era tratado, sua durabilidade era muito curta. Alguns fazendeiros veem o bambu/taboca com maus olhos por considerar que atrapalha o pasto. A planta se alastra e facilmente toma conta do espaço, sendo difícil retirá-la completamente. Outro fator para completar a fama de praga são os espinhos da espécie, que estão por toda a parte e machucam muito no contato.

Nas visitas, foi explicado para os moradores envolvidos com a produção do bambu a importância de não se deixar os gomos da planta abertos após o corte, para evitar o acúmulo de água da chuva no pé que ainda vai voltar a



brotar. Isso pode levar a planta a apodrecer e favorece a proliferação de insetos, que danificam os futuros brotos de bambu através dos rizomas. Em um dos cursos, o bambuzeiro Lúcio Ventania ensinou: “Colher o bambu o mais rente ao solo possível, deixando sempre o nó fechado para evitar penetração de água da chuva”.

Os bambus colhidos para o quiosque foram transportados por caminhões. Por várias vezes estes ficaram atolados nos ramais de acesso às áreas de manejo e só puderam ser retirados com a ajuda de tratores. Isso causou atraso na entrega do material no Polo Moveleiro em Rio Branco.

ETAPAS E TÉCNICAS NO TRATAMENTO DO BAMBU - O início do tratamento de secagem dos bambus com material químico foi no Polo Moveleiro em Rio Branco. O local foi escolhido por ter estufa, uma grande área coberta para armazenamento e para o tratamento adequado do bambu. Uma das primeiras técnicas utilizadas foi a de furar os gomos/nós e escorar as varas verticalmente em um espaço coberto, despejando o produto químico utilizado (Inkabor, diluído em água com concentração de 5%) por dentro do bambu na posição vertical. Esse processo foi feito manualmente ao longo de uma semana, sendo o produto despejado vara por vara todos os dias no início de cada manhã. No fim da tarde de cada dia, era observado se o produto havia escorrido até o chão.

Em 2014, com o apoio da Funtac, foi construído um tanque de 10 mil litros com capacidade de tratamento para até 40 varas de bambu por imersão, dependendo do diâmetro das mesmas, deitadas na posição horizontal. A construção do tanque foi de grande importância, pois o Acre passou a contar com um local para o tratamento adequado do bambu. Isso possibilitou o tratamento da segunda leva de varas por imersão. Da mesma forma que anteriormente, os gomos/nós foram furados antes de serem submersos no tanque, novamente com o produto Inkabor, diluído em água na concentração de 5%, durante uma semana. Na sequência, as varas foram mantidas de pé em um lugar com sombra para secagem natural, por pelo menos uma semana, sob monitoramento de um medidor de umidade. Nas figuras 7 e 8, visualiza-se parte desse procedimento.

Essa forma do tratamento de secagem do bambu *Guadua* spp. acelerou o processo do andamento da obra.

Em contato com o experiente madeireiro Roberto Sgorla, há mais de trinta anos no ramo, especialista em secagem de madeira de diferentes espécies e densidades, surgiu a ideia de realizar a secagem do bambu por ventilação em estufa, processo já empregado em outros países, na tentativa de apressar



FOTO: CAROLINA PAQUECO SODRÁ (2014)

Figura 7. Bambu para teste de secagem na estufa do Polo Moveleiro em Rio Branco, Acre



FOTO: BRUNO MAMBOSI (2014)

Figura 8. Bambus para a obra secando naturalmente no galpão coberto do polo moveleiro de Rio Branco, Acre

a secagem natural. A ideia foi apresentada ao grupo de trabalho, que decidiu priorizar o processo de secagem natural mas também fazer novos testes com a estufa para aprimorar o processo.

A secagem natural foi feita em espaço coberto, o que levou em torno de 46 dias. Suellem Pontes descreve o processo:

A equipe acompanhou a secagem fazendo pesagens a cada 24 horas, até que a variação entre uma pesagem e sua anterior não demonstrasse grande diferença. No entanto, não foi seguido nenhum parâmetro científico para tal processo. Portanto, não é possível discutir resultados científicos dessa metodologia. O bambu (na forma de colmos), quando submetido a uma secagem natural, apresenta menos rachaduras. Por outro lado, o processo de secagem é lento. A secagem natural para o bambu em questão (*Guadua* spp.) durou 46 dias, não sendo possível afirmar que esse tempo seja comum nas demais espécies de bambu (Entrevista via e-mail, Pontes, 2015).

Para iniciar os testes de secagem com a estufa, houve a colaboração do Centro de Tecnologia da Madeira e Mobiliário (CETEMM/Senai, Acre). Os testes foram realizados com pedaços de bambu de 30cm em estufas de bancada. O processo foi acompanhado pelo engenheiro florestal Renato Almeida, do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) no CETEMM/Acre, que descreve a experiência:

Os ensaios foram realizados em estufa de bancada e lá colocamos amostras por períodos de 48 horas a 60 graus Celsius, depois 48 horas a 70 graus e, por fim, 48 horas a 80 graus. As amostras eram divididas



em: sem tratamento (testemunha), com parafina no topo e amostras com aplicação de seladora. De um modo geral, aquelas com parafina apresentaram rachaduras leves em relação às demais. Aquelas com seladora racharam um pouco mais e as testemunhas racharam bastante. De qualquer forma, é importante realizar mais estudos (Entrevista via e-mail, Almeida, 2015).

Realizados na estufa do polo moveleiro, os primeiros resultados do teste de secagem em estufa com ventilação forçada (procedimento onde se cria uma ventilação automatizada em estufa imitando a ventilação natural necessária para secagem do bambu de uma forma mais rápida), feitos em 90 varas de bambu, foram satisfatórios. Algumas das varas que secaram em estufa apresentaram pequenas fissuras, mas em um nível considerado normal, aparecendo também nos bambus que secaram naturalmente. Outros bambus apresentaram rachaduras consideráveis, que poderiam comprometer a estrutura. Isso ocorreu em cerca de 8% das varas, que foram descartadas. O tempo de secagem em estufa também foi um processo lento, perdurando 45 dias. Praticamente igual ao tempo de secagem natural. A respeito desta técnica, Roberval Bráz Padovan argumenta:

Secagem em estufa: pode-se utilizar os mesmos equipamentos empregados para madeiras convencionais, controlando-se a temperatura, umidade e velocidade do ar em contato com o bambu. Recomenda-se, porém, utilizar somente em réguas de bambu ou taliscas, pois a rápida secagem dos colmos ocasiona fissuras e até o colapso da peça. Esse sistema resulta em melhor qualidade e rapidez de secagem, porém necessita de maiores investimentos em instalações, energia e equipamento (Padovan, 2010).

Para Bruno Imbroisi, o processo de secagem do bambu por ventilação forçada “foi um interessante experimento no qual se pôde verificar a estabilização acelerada do índice de umidade médio e a manutenção de um baixo nível de rachadura/ruptura dos colmos” (entrevista via e-mail, Imbroisi, 2015). Já Suellem Pontes considera:

Certamente o aprimoramento das técnicas de secagem em muito poderá agilizar o processo, tendo em vista que quando se trata da madeira existem programas de secagem para cada tipo de espécie, o que facilita a secagem e diminui os problemas ocasionados pela mesma. Assim, é preciso elaborar programas de secagem específicos para o bambu (o que ainda não temos) (Entrevista via e-mail, Pontes, 2015).

Durante os testes, foram observadas algumas peculiaridades relacionadas ao amadurecimento do bambu secado na estufa. As plantas de três a cinco anos demonstraram uma durabilidade maior que aquelas que aparentavam ter mais de seis anos.

Outro teste importante e bem-sucedido foi o de carga, para aferir a resistência e capacidade de carga do bambu. Para realizar esses testes, foi promovido um curso de capacitação para cerca de 20 pessoas (entre elas a equipe responsável pela obra), com o engenheiro agrônomo Danilo Cândia, responsável pela empresa Bambu Carbono Zero, de São Paulo, em dezembro de 2013.

Na semana do curso foram feitas diversas demonstrações de como trabalhar com bambu. Em um dos testes, um total de aproximadamente 690 kg (juntando 10 sacos de cimento de 50 kg cada e o peso de três homens) foram pendurados a partir de uma única vara de bambu. A carga foi toda centralizada em um ponto da vara, que estava suspensa horizontalmente, suas extremidades apoiadas em pilares de concreto. A resistência do bambu nesse teste demonstrou a força do material e trouxe a credibilidade que faltava na sua segurança para sustentar a estrutura do quiosque. Isso foi importante inclusive para convencer alguns céticos da equipe sobre a resistência do bambu. As figuras 9 e 10 registram parte do curso de capacitação, onde adiciona-se peso para testar a capacidade de carga do material.

Gilberto Bessa ressaltou a importância do curso para melhor compreender as possibilidades do uso do bambu. “Até aquele momento, eu não tinha noção da resistência do material, que aguentou quase 700 kg, toda essa carga em um único ponto do bambu”, admirou-se (Entrevista via telefone, Bessa, 2015).

Suelem Pontes considera que o curso foi importante não apenas para que Cândia compartilhasse o conhecimento proveniente de diversos trabalhos de construção com bambu, mas também para a divulgação da obra do quiosque na cidade. A partir de tal demonstração de resistência, “ficou visível para a população o potencial do bambu na construção civil” (Entrevista via e-mail, Pontes, 2015). Bruno Imbroisi acrescenta que foi a primeira vez que a equipe pôde ver, na prática, “a resistência do bambu à flexão e ao cisalhamento, o que aumentou sobremaneira a confiança de todos na matéria-prima” (Entrevista via e-mail, Imbroisi, 2015).





Figura 9. Teste de carga realizado em dezembro de 2013, com quase 700 kg sustentados por um bambu



Figura 10. Para o teste de carga, foram usados 10 sacos de cimento de 50 kg, somados ao peso de três homens

Resultados e discussão

A construção do quiosque de bambu associado ao projeto do Parque do Tucumã mostrou viabilidade econômica, social e ambiental. O custo total da utilização do bambu nesta obra foi de R\$ 69.421,17. A expectativa é que a estrutura possa permanecer por 20 anos até que seja necessária a primeira revitalização, segundo bambuzeiros de outros estados que avaliaram a obra. Para fins de comparação, uma estrutura metálica para um projeto similar custaria em torno de R\$ 151.154,60 segundo o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi) de abril de 2015, levando-se em consideração a metragem do projeto. Assim, fica claro o apelo da utilização de materiais renováveis e ecológicos como o bambu, que merece ser levado em consideração para a construção civil e a economia local.



Entendemos que a vida útil de uma estrutura metálica é maior que a de uma estrutura de bambu, mas ela demandaria uma manutenção periódica que alçaria o custo para um valor ainda mais elevado. A opção foi, portanto, priorizar o uso de uma matéria-prima ao mesmo tempo local e renovável. O uso do bambu possibilita a geração de renda para várias comunidades no interior do estado, o que certamente contribuirá para o desenvolvimento sustentável das comunidades daquelas regiões.

Algumas iniciativas já haviam sido realizadas para tornar o bambu um produto extrativista tradicional da cultura acreana, como aponta Dixon Afonso (2015):

A Funtac foi e é decisiva no processo de incentivar e/ou fomentar o uso do bambu no estado, desde 2005, quando em parceria com o Sebrae se pensou numa forma de uso do bambu no artesanato e a ampliação dessa ideia para obras civis. O bambu tem uma característica diferenciada de outras matérias-primas, pela sua diversidade de aplicações, possibilitando criar uma cadeia produtiva em vários ramos do empreendedorismo. As pesquisas na Funtac visam atender as demandas externas, propriamente do setor produtivo local. Assim, os estudos são no intuito de caracterizar física e mecanicamente as espécies de nossa região e realizar estudos de preservação com produtos naturais da Amazônia. Além disso, busca-se o desenvolvimento de produtos tecnológicos que possibilitem sua adoção ou inserção pelo setor produtivo, no âmbito de suas características próprias (Entrevista via e-mail, Afonso 2015).

A Funtac tem atuado em diversas linhas de pesquisa envolvendo o bambu, da execução de inventário e identificação de áreas com presença dessa matéria-prima até sua caracterização através de estudos laboratoriais, demonstrando através de estudos o potencial de uso do bambu para diversos fins (Pontes, 2015).

Outro ponto positivo foi a divulgação do projeto em meios de comunicação e redes sociais. Algumas reportagens destacaram o projeto e a abundância da matéria-prima no Acre. O portal *Ecoacre* publicou a seguinte notícia:

Esse precioso material, que dá formas a tantos produtos, tem sido explorado cada vez mais, inclusive como aliado do *design*, por permitir muita criatividade. Com essa visão ousada, a arquiteta Marlúcia Neves começa a impulsionar sua exploração diversificada para que se transforme numa política de governo no âmbito de fomento, principalmente no setor privado, capaz de fomentar a economia do estado (Portal Ecoacre, 2015).



Já o site *Notícias do Acre* publicou uma notícia destacando a promessa do ministro de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Aldo Rebelo, de repassar investimentos de R\$ 2,5 milhões para o Acre destinados à promoção e desenvolvimento de pesquisas e projetos com o uso do bambu como base de matéria-prima (2015).

O governo do Acre incentivará o uso do bambu em novas obras públicas no futuro, incluindo pontes e um centro tecnológico de bambu na capital. Empresas nacionais e internacionais demonstraram interesse e iniciaram conversas para firmar possíveis acordos para o desenvolvimento econômico da matéria-prima no estado. Pesquisadores de países como China, Japão, Estados Unidos e Alemanha estão visitando o Acre por interesse no bambu. Além disso, técnicos acreanos que trabalham com o material participaram de missões em outros países para colher mais conhecimento e informações sobre novas tecnologias para o uso da planta. Tais notícias são importantes para divulgar o potencial da planta para o desenvolvimento socioeconômico do estado e indicam disposição do governo para valorizar e incentivar o uso do bambu em diversas frentes de negócios, principalmente na construção civil.

Conclusões

1. O bambu *Guadua* spp. é uma espécie da região amazônica que pode se tornar sinônimo de prosperidade no Acre. A obra do quiosque colabora significativamente para a credibilidade sobre o uso do bambu na construção civil no estado.
2. Após os testes realizados no processo de secagem dessa espécie em estufa, chegamos à conclusão que as plantas de três a cinco anos demonstram maior durabilidade. É preferível executar o corte do bambu nos períodos de menor umidade relativa do ar, o que ajuda a evitar rachaduras.
3. A técnica de secagem rápida feita na estufa com ventilação forçada, apesar de positiva, não apresentou diferença significativa no tempo de secagem e necessita de aprimoramento tecnológico.
4. Concluída a construção do quiosque de bambu associado ao projeto do Parque do Tucumã em Rio Branco, e acompanhando o seu uso pela população, consideramos que o espaço fortalece e valoriza as riquezas regionais do estado e é reconhecido pela comunidade como um lugar de convívio e interação das pessoas.



5. Acreditamos que em poucos anos a espécie *Guadua* spp. virá a se tornar comum na construção civil no Acre, de maneira semelhante à madeira, despontando a sua viabilidade econômica tanto para centros urbanos quanto para comunidades em zonas rurais e nos seringais. O emprego dessa matéria-prima tem vantagens tanto sociais quanto ambientais, sendo biodegradável e sustentável – uma espécie nativa, resistente e de fácil proliferação.

Agradecimentos

A Deus, pela comprovação de que, com a fé, conseguimos alcançar e vencer todos os desafios da vida;

A todos que ajudaram e colaboraram de forma direta ou indireta para a conclusão da obra, bem como a todos que contribuíaam com observações e experiência para a apresentação deste trabalho, especialmente ao grupo formado para a discussão e acompanhamento do processo;

Em particular, aos parceiros da Funtac Luiz Azevedo, Suelem Pontes, Dixon Afonso, Flávio Galixto e Daniel Nascimento, por atenderem aos pedidos de ajuda, repassarem conhecimento e acreditarem no bambu como matéria-prima de amplas possibilidades, e a todos da instituição que colaboraram de alguma forma;

Aos parceiros da Embrapa Acre, Eufraan Amaral, Patrícia Drumond, Elias Miranda, Daniel Papa e a Bruno Imbroisi por toda a experiência e dedicação ao processo da obra;

A Viviane Neves, que ajudou na logística dos caminhões e autorizações dos espaços para tratamento do bambu;

A Renilda, da comunidade de Porto Acre, que nos recebeu em sua casa com hospitalidade e simpatia, e pelo fornecimento de parte dos bambus para a obra;

A Dande, da comunidade de Assis Brasil, que nos recebeu em sua casa e também forneceu bambu para obra;

Ao madeireiro Roberto Sgorla pela troca de ideias sobre secagem do bambu, sugerindo a tentativa de ventilação forçada em estufa, e à sua esposa;

À equipe da Seop – Secretaria de Obras Públicas do Acre, principalmente na pessoa do secretário Leonardo Neder, além de Átila Pinheiro, Denis Amorim, Dandara Lima e a todos do órgão que colaboraram de alguma forma;

À Construtora Coluna, ao senhor Ealder e ao mestre de obras Gilberto Bessa e toda a sua equipe;

Ao polo moveleiro e sua equipe, principalmente a Eder Fidelis, Aldejanas,

Angela e a Jesus, motorista do caminhão do polo que transportou os bambus;
A Patricia Lopes Coelho e à Dra. Oleides de Oliveira, pela contribuição,
correção e organização deste texto;

Finalmente, ao governador Tião Viana, que tem se mostrado um grande
entusiasta do desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu no Acre.

Referências

- AFONSO, D.G. Bambu Nativo (*Guadua* spp): alternativa de desenvolvimento econômico e sustentável para o Estado do Acre. Monografia apresentada no curso de pós-graduação em Gestão na Indústria Madeireira do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- AFONSO, D.G.; PONTES, S. Entrevista concedida a funcionário da Fundação de Tecnologia do Acre – FUNTAC. Rio Branco, 2015.
- ALMEIDA, R. Entrevista concedida a funcionário do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai) no Centro de Tecnologia da Madeira e Mobiliário CETEMM/ACRE. Rio Branco, 2015.
- BESSA, G. Entrevista concedida a funcionário da Construtora COLUNA. Rio Branco, 2015.
- CALIXTO, F. Entrevista concedida a funcionário do Departamento de Estradas e Rodagem do Acre – DERACRE. Rio Branco, 2015.
- IMBROISI, B.; MIRANDA, E. Entrevista concedida a funcionário da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA – ACRE. Rio Branco, 2015.
- JUDZIEWICZ, E.J; CLARK, L.G., LONDONO, X.; STERN, M.J. **American bamboos**. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1999. 392 p.
- MANHÃES, A.P. Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar. Monografia apresentada no curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008. 39 p.
- MURAD, J.R. de L. Estudo experimental das propriedades físicas, mecânicas e aplicações estruturais do bambu *Guadua* spp. de Assis Brasil/AC. Tese de doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2011.
- NEVES, M.C. de O. **A colocação e a casa de seringueiro: exemplo de arquitetura vernácula da Amazônia**. Rio Branco: Gráfica TJ/AC, 2007. 214 p.
- PADOVAN, R.B. O bambu na arquitetura: *design* de conexões estruturais. Dissertação de mestrado na Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010. 183f. : il.
- PEREIRA, M.A. dos R.; BERVALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2007. 240 p.
- SILVEIRA, M. A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas. Tese de Doutorado. Universidade Nacional de Brasília. Brasília, 2001.
- SILVEIRA, M. Oferta de bambu (*guadua* spp.) nos vales dos rios Acre-Purus e estudos populacionais como base para a elaboração de um plano de manejo piloto do recurso. Relatório apresentado ao SEBRAE/AC. Rio Branco, 2006. 17p.
- VÉLEZ, S. Bamboo – **Grow your own house**. Alemanha: Vitra Design Museum, 2000.





Produção e uso de materiais compósitos bambu-PET na construção civil popular

Fabiano Ostapiv⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco. Via do Conhecimento Km 1, Cep 85503-390 – Pato Branco – PR. Tel. 46 3220 2511.

E-mail: fabianoostapiv@utfpr.edu.br

Resumo – O uso combinado de colmos de bambu revestidos com embalagens descartadas de polietileno tereftalato (PET) é uma solução de engenharia importante para a produção de materiais compostos como vigas e painéis, que podem ser usados na construção civil. Para produzir esse tipo de material podem ser usados diferentes tipos de bambus, especialmente as espécies de médio diâmetro como a *Bambusa tuldoides*, facilmente encontrada no território brasileiro. Neste trabalho, é mostrado: como avaliar a produção de colmos de uma touceira e identificar visualmente a idade dos colmos; como produzir vigas e painéis de colmos de *Bambusa tuldoides* revestidos com embalagens PET usando processos de fabricação com baixa mecanização; como avaliar a densidade aparente dos colmos inteiros e das vigas cilíndricas produzidas. Os dados obtidos demonstram que esses materiais têm um grande potencial de uso na construção de casas populares.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BAMBUSA TULDOIDES, PRODUÇÃO DE COLMOS, EMBALAGENS DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET), PAINÉIS DE BAMBU, VIGAS DE BAMBU, CASAS DE BAMBU.



Production and use of bambu-PET composites materials in social housing construction

Abstract – *The combined use of bamboo culms with polyethylene terephthalate (PET) discarded containers is an important engineering solution for the production of composite materials, which can be used in construction. Light beams and panels can be produced from the combination of PET and different kinds of bamboo. In this work, the species Bambusa tuldooides, easily found throughout the Brazilian territory, was used. This work shows: how to evaluate the culms produced by a clump, and how to visually identify the age of the culms; how to produce beams and panels from the culms of Bambusa tuldooides coated with PET packages using manufacturing processes with low mechanization; and how to measure the apparent density of the whole culms and the density of the cylindrical beams produced. The data obtained shows that these materials have relevant potential for use in social housing construction.*

INDEX TERMS: BAMBUSA TULDOIDES, CULMS PRODUCTION, POLYETHYLENE TEREPHTHALATE PACKAGES (PET), BAMBOO PANELS, BAMBOO BEAMS, BAMBOO HOUSES.

Introdução

O bambu é um material adequado para uso na engenharia, conforme mostrado por Dunkelberg e Fritz (1985), Ghavami (1992), Pereira e Beraldo (2013). Por ser um tubo vegetal lenhoso, alia leveza, beleza e elevada resistência mecânica, como se pode constatar nos trabalhos de Lee et al. (1997), Arce-Villalobos et al. (2002), Khatry e Mishra (2012).

Existem várias maneiras de aproveitar os colmos de bambu industrialmente, como na fabricação de painéis e peças estruturais coladas. Para isso, é necessário obter a homogeneização e a padronização do material lignocelulósico dos colmos (a chamada “madeira de bambu”), que são processados e desmontados na forma de pós, cavacos, lâminas ou pequenas ripas para depois serem remontados na forma de produtos industriais tais como painéis compensados, aglomerados, bambu laminado colado, etc. Essa industrialização exige, de um modo geral, elevada mecanização e recursos financeiros – sobre isso, ver as pesquisas de Bansal e Zoolagud (2002), Moizés (2007), Salamon (2009), Ostapiv (2011).



Tradicionalmente, o uso de colmos inteiros de bambu na arquitetura e na construção civil exige espécies de grande porte, tais como: *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys pubescens*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper* e *Guadua angustifolia*. Esta última espécie é nativa da América, encontrada principalmente na região equatoriana e bastante utilizada em construções, como mostram os artigos de López (1981) e Londoño e Villegas (2003). Outra característica importante no uso dessas espécies de bambu na construção civil é a linearidade dos colmos, que não apresentam grandes desvios de axialidade. Apesar de indesejáveis, os defeitos de axialidade podem ser corrigidos parcialmente através do manejo das touceiras, da seleção dos colmos colhidos e da retificação por processos termomecânicos.

Além do uso de espécies que tenham colmos lineares e grande diâmetro, os colmos usados na construção civil devem ser tratados para evitar ataques de fungos e insetos e para preservarem suas características por mais tempo. Normalmente, os colmos são impregnados com preservativos usados para a madeira, como os compostos de cobre e boro, para aumentar a vida útil final da construção. Também é usado o tratamento em autoclave e a pintura final dos colmos, estudados por Ubidia (2002) e Yu (2007).

Embarcar os colmos de bambu com PET, devido às propriedades de barreira e resistência mecânica desse polímero, é um tipo de tratamento que ajuda na preservação dos colmos, formando uma proteção mecânica que, além de impermeabilizar, reduz o ataque de insetos. O tratamento em materiais cuja finalidade seja de uso estrutural é necessário, pois, como mostram Wang et al. (1998), o bambu é um material suscetível ao ataque de fungos apodrecedores e insetos, e de difícil tratamento com preservativos.

No Brasil, são raros os reflorestamentos de bambu com plantio e manejo controlados. Tampouco existem volumes disponíveis das espécies de bambu de grande porte, com algumas exceções como o *Bambusa vulgaris*, distribuído por todo o país, e o *Guadua chacoensis*, espécie nativa das margens dos rios das bacias hidrográficas do Paraná, Paraguai e Alto Amazonas. Estima-se que 11% da floresta amazônica na região conhecida como Alto Amazonas, que envolve parte do Acre, da Bolívia e do Peru, é ocupada pelo bambu *Guadua chacoensis* (Santo et al., 2003). Por outro lado, bambus entouceirantes tropicais de menor porte, como algumas espécies do gênero *Bambusa*, ocorrem em praticamente todo o mundo tropical. Estes bambus foram amplamente utilizados e difundidos por portugueses e espanhóis já no início do período colonial, trazidos da Ásia para a América e para a África.

O *Bambusa tuldoides*, originário da China, é facilmente encontrado em todo o Brasil. É uma espécie tradicionalmente utilizada no dia-a-dia das pro-



priedades rurais, especialmente nas pequenas e médias. Os usos mais comuns são a construção de cercas, artesanatos, móveis, estufas, galinheiros, chiqueiros, galpões, etc. É um recurso florestal importante que, no entanto, não aparece nos inventários florestais brasileiros.

A espécie *Bambusa tuldoides* apresenta as seguintes características.

- Altura dos colmos: 12 m
- Diâmetro médio dos colmos na base: 6 cm
- Temperatura mínima que a espécie suporta: -9 °C

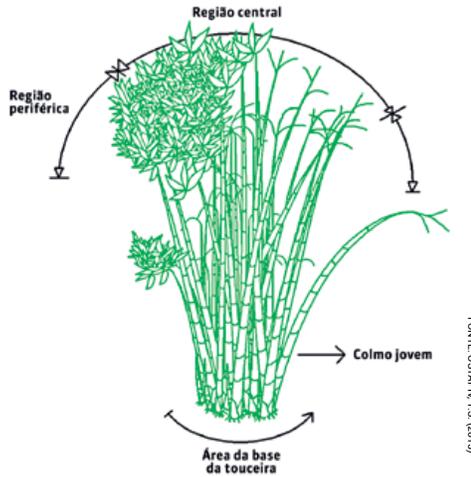
A massa específica, ou densidade básica, do material lignocelulósico retirado dos colmos de bambus muda significativamente de acordo com: a idade do colmo; as diferentes regiões do colmo (base, meio e topo); a parte externa ou interna do colmo e região dos nós ou dos entrenós de onde o material é retirado, como mostraram Zhou (1981, 2003), Kamruzzaman et al. (2008), Berndsen et al. (2013). Também pode existir uma diferença significativa na densidade do material devido às condições relativas ao manejo do bambuzal, ao solo e ao clima. Finalmente, o teor de umidade do material influencia diretamente no valor da massa específica. Normalmente, adota-se 12% de teor de umidade como referência, valor em torno do qual as madeiras secadas no meio ambiente se encontram. Colli et al. (2007) encontraram resultados para a densidade básica de *Bambusa tuldoides* a 12% entre 650 e 820 kg/m³, enquanto Oliveira (2012) obteve 700kg/m³ como valor médio para a espécie.

Para colmos inteiros, a densidade e a resistência mecânica do material são menores, pois os colmos apresentam vazios no seu interior. Se forem usados como elementos estruturais na construção civil, com espaços interiores preservados e não preenchidos com algum outro tipo de material, então não deve ser medida a densidade básica, mas a aparente. Esse é certamente o caso para o uso de feixes de colmos como elementos constituintes de vigas, colunas ou painéis.

Se crescerem livremente em um espaço aberto, os colmos de uma touceira se distribuem normalmente em círculo, a partir do colmo mãe ou primeira geração. Cada nova geração avança radialmente a partir desse ponto, dando a forma da touceira. Quando há obstáculos, a forma da touceira muda e, dependendo do manejo adotado, o crescimento de uma touceira pode ser direcionado, conforme mostra Yulong (2006). Considerando a ocupação que a touceira faz do solo como uma forma circular, podemos definir pelo menos duas regiões: a central e a periférica. De um modo geral, na região periférica os colmos crescem mais arqueados. Na região central, os colmos se arqueiam



menos e a maior parte do colmo fica retilínea. Isso se deve ao fototropismo, a competição pela luz solar, aliado ao efeito do campo gravitacional. Assim, a touceira apresenta uma forma como a esquematizada na figura 1.



FONTE: OSTAPIN, S. (2019)

Figura 1. Nomenclatura das regiões de uma touceira

Os colmos da região central, portanto, são os mais indicados para a fabricação de peças longas e lineares. Já os colmos das regiões periféricas são ideais para peças arqueadas. Na região periférica, a taxa de colmos jovens é muito maior que na região central, devido ao modo como a touceira cresce. Em ambos os casos, os colmos a serem usados com finalidade estrutural na construção civil devem ser os maduros, porque apresentam maior resistência mecânica, como demonstrado por Zhou (1958, 1986, 2003), López (1981), Greco e Crowberg (2011) e Pereira e Beraldo (2013).

O polietileno tereftalato – PET é um polímero semicristalino, termoplástico, ou seja, que pode ser conformado termicamente e reciclado muitas vezes. Por suas características únicas, é mundialmente utilizado na fabricação de embalagens de bebidas como água e refrigerantes. O material é leve e apresenta alta resistência mecânica e estabilidade química, com boa resistência ao impacto e baixa permeabilidade aos gases: as embalagens PET de refrigerante e água são classificadas como PET orientado, ou seja, que foi estirado antes do sopro da garrafa. O estiramento promove maior grau de cristalização do polímero, aumentando ainda mais sua resistência mecânica e propriedades de barreira, de acordo com o explicado por Anon (1997), Gorni (2000).

O PET chegou ao Brasil em 1988, mas o mercado de PET tem aproximadamente 20 anos no país. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do PET – ABIPET (2013), a produção nacional no setor vem crescendo ano após ano. Em 2008, foi de 470 mil toneladas, sendo 253 mil toneladas recicladas. Em 2012, aumentou para 675 mil, com massa reciclada de 331 mil, o que corresponde a um aumento no índice de reciclagem de 53,8% para 58,9%. No entanto, o volume de embalagens que acaba nas galerias de água, rios, bosques, florestas, mangues, praias, oceanos é imenso, causando muitos impactos ambientais negativos como, por exemplo, a poluição visual.

Por serem feitas de um material muito estável, as embalagens PET descartadas de forma irresponsável no meio ambiente levam de 400 a 800 anos para se degradar. Se estiverem tampadas, não se compactam, criando diversos problemas nos aterros sanitários e nos solos, especialmente nas encostas de morros. Se abertas, podem reter água e virar criadouros de mosquitos vetores de doenças, causando sérios problemas de saúde pública.

A importância deste trabalho se deve aos seguintes fatores:

- Uso de espécies de bambu de médio porte, existentes em todo o território nacional, na forma de feixes de colmos não lineares, processados com baixa mecanização.
- Uso de revestimento dos feixes de colmos de bambu com embalagens PET, o que aumenta as possibilidades de reutilização das embalagens descartadas e melhora a durabilidade dos colmos.
- Desenvolvimento de novos materiais. As vigas cilíndricas e o painel de bambu/PET apresentam propriedades e características finais superiores àquelas apresentadas pelos componentes individuais isolados, caracterizando assim o material bambu/PET como um compósito clássico.
- A garantia de domínio público para a tecnologia desenvolvida, devido à divulgação do método para obtenção dos diferentes produtos finais de bambu/PET, facilitando o acesso da população ao conhecimento técnico/científico desenvolvido na universidade.

O presente trabalho tem como objetivos:

- Mostrar técnicas simples de avaliação da produtividade de colmos maduros de touceiras de *Bambusa tuldooides*.

- Mostrar técnicas simples para a produção de vigas e painéis compostos de colmos de *Bambusa tuldooides*, revestidos com embalagens descartadas de garrafas PET.
- Testar a massa específica das vigas de feixe de colmos revestidas com PET.

Material e métodos

Para obter e testar as vigas compostas de colmos de *Bambusa tuldooides* revestidas com a parte cilíndrica de embalagens de garrafas PET termoformadas e obter os painéis de bambu/PET, a partir de uma touceira de 30 anos de idade, foi seguido o roteiro descrito abaixo:

- Manejo de uma touceira de *Bambusa tuldooides*, com corte seletivo, para retirada de colmos maduros, identificados visualmente, a serem usados na produção de vigas e painéis de bambu/PET.
- Avaliação da quantidade possível de colmos maduros produzidos por uma touceira adulta de *Bambusa tuldooides*. Foram realizados cortes rasos em três áreas quadradas de 1m² na touceira com a seguinte distribuição: 1m² na região periférica; 1m² na região intermediária e 1m² na região central da touceira. Foram contados e classificados todos os colmos abatidos segundo a idade, massa e comprimento de cada uma das áreas.
- Classificação dos colmos maduros mais retilíneos para produção de oito vigas.
- Classificação das embalagens PET descartadas por capacidade volumétrica e formato. Para a produção das vigas, foram usadas embalagens de água de 5 e 10 litros e para a produção dos painéis foram usadas embalagens de refrigerante de 2 litros.
- Retirada dos corpos de prova para ensaios de massa específica das vigas produzidas.
- Avaliação da massa específica dos colmos inteiros de *Bambusa tuldooides*.
- Avaliação da massa específica das vigas cilíndricas compostas.

- Avaliação e manejo da touceira de *Bambusa tuldooides*. É uma etapa importante, que permite levantar dados de produtividade, volume de colmos jovens, maduros e velhos, idade, histórico, área total e estado geral da touceira, densidade de colmos por área, taxa de brotação, etc.

Nesse trabalho, a avaliação da touceira foi feita através das seguintes atividades:

- Entrevista com o proprietário e trabalhadores que manejam a touceira.
- Medição do perímetro e avaliação da área da touceira.
- Corte raso de uma parcela significativa da touceira com 3m², abrangendo uma área da parte externa, uma intermediária e uma parte central da touceira.
- Identificação e contagem dos colmos, feitas nessas áreas delimitadas, o que permitiu encontrar uma densidade média de colmos por metro quadrado da touceira como um todo.
- Inventário e classificação dos colmos da parcela abatida da touceira. Estimativa dos volumes de colmos da touceira usando as taxas obtidas na amostragem.
- Classificação dos colmos sadios.
- Os colmos foram separados por idade, através do uso de indicadores visuais, tais como: presença de fungos, líquens, bainhas, cera esbranquiçada, raízes aéreas, sinais de degradação, entre outros. Assim, foi possível identificar os colmos jovens com menos de 1 ano, de 1 a 2 anos, de 2 a 5 anos e acima de 5 anos de idade. Utilizou-se metodologia adotada por Zhou (1958), Wang e Huang (1996), Ostapiv e Gonçalves (2010) e Berndsen et al. (2013), sintetizada na tabela 1. Na construção das vigas compostas, foram usados apenas os colmos maduros com idade entre 2 e 5 anos.

Tabela 1. Características identificadoras de idade dos colmos de *Bambusa tuldoides*

Até 1 ano	Apresentam coloração verde escuro uniforme e brilhante, cera esbranquiçada uniforme e bainhas no colmo e na base do colmo, contém maior teor de umidade que os colmos velhos.
1 a 2 anos	A cor verde fica menos brilhante e mais fosca. Ausência ou leves resquícios de cera no colmo, ainda pode apresentar bainhas em fase de decomposição na base do colmo.
2 a 3 anos	Mudança de cor do verde uniforme para um tom mais pálido tendendo ao amarelo queimado. Iniciam-se as marcas de fungos e líquens.
Acima de 3 anos	Apresentam marcas evidentes de fungos e líquens no colmo, a coloração amarelada e não uniforme mais acentuada, o colmo às vezes apresenta as raízes bem visíveis acima do solo.
Acima 5 anos	Inicia-se o processo de degradação, pode apresentar regiões do colmo secas e marrom, diminuição da massa específica.

As embalagens PET foram classificadas por capacidade volumétrica. Foi também avaliada a espessura da parede da embalagem, a massa e a taxa de reutilização das embalagens. As embalagens com formato muito diferente do cilíndrico foram rejeitadas nessa etapa.

Na construção das peças de bambu/PET, foram produzidos protótipos com diferentes diâmetros e comprimentos, usando embalagens PET de diferentes volumes: ½, 2, 5 e 10 litros. No caso da embalagem menor (½ litro), foram usadas somente as partes superiores do colmo de bambu para fazer o feixe de colmos. Na figura 2, são mostradas peças cilíndricas com diferentes diâmetros, compostas de feixes de colmos revestidos com PET. De peças como essas foram retirados os corpos de prova para os ensaios de massa específica.



FOTODDO AUTOR (2015)

Figura 2. Feixes de colmos de *Bambusa tuldoides* revestidos com embalagens PET de ½, 2, 5 e 10l, formando vigas de diferentes diâmetros

Para produzir essas vigas compostas, seguiram-se os passos abaixo:

- Produção dos feixes de colmos. Os feixes de colmos de bambu foram amarrados com arames ou cintas de polímero. Os colmos foram dispostos em pares de forma alternada: usou-se um colmo disposto no sentido base-topo seguido de um colmo invertido, disposto no sentido topo-base. Prosseguindo dessa maneira, foram montados os feixes de colmos, que passaram por dentro de uma determinada embalagem PET cortada, que funciona como um calibrador passa-não-passa.
- Revestimento do feixe de colmos. Todas as embalagens PET foram cortadas (destopadas) eliminando-se o gargalo e o fundo da embalagem, sobrando apenas a parte cilíndrica da mesma. Com essas peças cilíndricas, o feixe de colmos foi revestido totalmente. As embalagens PET devem ter uma sobreposição nas junções, para garantir um revestimento contínuo. Após o revestimento, foi usado um maçarico a gás, uma pequena fogueira no chão, ou um soprador de ar quente industrial, para aquecer as embalagens de revestimento, fazendo-as encolher e apertar o feixe de colmos. Esse processo é chamado de termoformagem. Para melhores resultados de proteção dos feixes de colmos, podem ser feitas novas camadas de PET e repetida a conformação térmica. No caso das vigas da figura 2, foi usado maçarico a gás (GLP) e, nos painéis, um soprador de ar quente como mostrado no painel da figura 3.



Figura 3. Etapa de montagem de painel com embalagens PET de 2 litros, anterior à conformação térmica. Detalhe do soprador de ar quente

Os testes foram realizados nos laboratórios de Materiais do curso de Engenharia Civil da UTFPR-Pato Branco. Para o ensaio da massa específica dos colmos, foram retirados 15 corpos de prova de 20cm da região da base, 15 do meio e 15 do topo do colmo. Para o ensaio de avaliação da massa específica das vigas, foram produzidos lotes com 15 corpos de prova a partir dos dois tipos de vigas, revestidas com embalagens PET de 5 e de 10 litros, mostradas na figura 2. As vigas foram revestidas com camada dupla de PET. A técnica para avaliar o volume dos corpos de prova foi a de Arquimedes por submersão em água. A massa de água deslocada foi pesada em balanças digitais com resolução de 0,1g. Como os corpos de prova retirados dos colmos e os retirados das vigas apresentam vazios no seu interior, foi necessário impermeabilizá-los usando filme plástico de polipropileno antes de fazer a submersão na água. Todos os corpos de prova ficaram armazenados em câmara climatizada até apresentarem teor de umidade de 12%.

Resultados e discussão

Algumas características das embalagens PET descartadas reutilizadas no revestimento dos colmos de bambu são mostradas na tabela 2.

Tabela 2. Características das embalagens PET: espessura, massa e taxa de reaproveitamento

Embalagens PET – volume (L)	2	5	10
Tipo de líquido envasado	refrigerante	água	água
Espessura da parede da PET (mm)	0,25	0,25	0,25
Massa média da parte reusada das embalagens (g)	21,9	43,8	71,8
Taxa de reaproveitamento da embalagem (%)	52	41	48,5

As diferenças na taxa de reaproveitamento das embalagens se deve ao formato. As embalagens que permitem uma maior taxa são as de refrigerante, que, dependendo da marca, têm o formato de um cilindro regular. Isto não ocorre com as embalagens de água.

Na tabela 3, são mostrados os resultados das medições e avaliações realizadas numa touceira de *Bambusa tuldoides*, de 30 anos de idade, localizada no município de Pato Branco no Estado do Paraná. Os trabalhos de avaliação ocorreram durante o mês de março de 2015.

Tabela 3. Dimensões, quantidades e distribuição dos colmos segundo a idade numa touceira adulta de *Bambusa tuldoides*

Comprimento total dos colmos (m)	12,3
Comprimento útil dos colmos para uso nas vigas (m)	9
Comprimento útil para uso nos painéis (m)	6
Diâmetro médio da base	5,1
Diâmetro médio dos colmos	2,2
Número médio de colmos na área central da touceira/m ²	40
Número médio de colmos na área intermediária da touceira/m ²	55,5
Número médio de colmos na área periférica da touceira/m ²	45,5
Densidade média de colmos/m ² na touceira	48,3
Massa média dos colmos de 9 m recém abatidos "verdes" (kg)	10,5
Massa média dos colmos de 9 m secados no ambiente (kg)	6,3
Número total de colmos estimado na touceira	1033
Total de colmos maduros estimados (de 2 a 5 anos de idade)	422
Total de colmos com menos de 1 ano de idade	238
Total de colmos jovens estimados (1 a 2 anos de idade)	206
Total de colmos com mais de 5 anos estimado	99
Total de colmos velhos e doentes estimados	68

A touceira tinha um perímetro significativo de 17,2 m e área total estimada de 23,5 m². Foram desconsiderados na análise 2,1 m² dessa área devido a vazios existentes na região periférica da touceira. Considerou-se: área central da touceira o círculo central com 2,9 m²; área intermediária um anel concêntrico com 7,5 m² e a área periférica outro anel concêntrico com área de 11 m². Obteve-se então um valor médio ponderado de 48,3 colmos/m² na touceira de *Bambusa tuldoides* estudada, com desvio padrão de 4,5 colmos/m² e coeficiente de variação de 22%.

O total de colmos estimado na touceira foi de 1.033. A distribuição por idade e a massa dos colmos verdes e secos aparecem na tabela 3.

Após três meses de armazenamento e secagem dos colmos abatidos em um galpão, mediu-se novamente a massa de um lote de 15 colmos de 9 m de comprimento útil, obtendo-se uma média de 6,3 kg de massa por colmo com desvio padrão de 0,82 kg e coeficiente de variação de 31,5%, teor médio de umidade dos colmos de 15,7%.

Foi encontrada a seguinte distribuição de colmos por metro quadrado nas diferentes regiões da touceira:

- Na região central da touceira ocorreu a menor densidade de colmos ($40/m^2$) e a menor taxa de colmos novos ($3/m^2$), sendo que em sua maioria os colmos desta região eram maduros ($25/m^2$), com elevado número de colmos velhos e mortos ($12/m^2$). Essa distribuição se deve principalmente à falta de manejo e espaço para crescimento de novas gerações.
- Na região intermediária, ocorreu a maior taxa ($55/m^2$).
- Na área periférica foram encontrados $45/m^2$. Foi a região com menor densidade, devido à expansão do bambuzal e ao manejo inadequado. Nesta região foi registrado o maior número de colmos jovens ($25/m^2$) e nenhum colmo velho.

Na tabela 4 são mostradas características dimensionais destas vigas compostas.

Tabela 4. Massa específica e outras características das vigas de bambu revestidas com embalagens PET

Volume da embalagem de revestimento das vigas (L)	5	10
Diâmetro das vigas cilíndricas compostas (cm)	$13,7 \pm 0,8$	$18,9 \pm 1,4$
Comprimento máximo fabricado (m)	6	8
Área transversal média (cm ²)	158,4	323,6
Massa por metro linear (kg/m)	4,8	8,9
Número de colmos por peça	6	14
Número de embalagens PET/m (2 camadas)	12	10
Densidade aparente média calculada (kg/m ³)	326	318
Densidade aparente média das vigas (medida) (kg/m ³)	358	385
Coefficiente de variação (C.V.) (%)	20,1	31,7
Desvio Padrão (D.P.) (kg/m ³)	51,6	73,7

A massa seca total da parte útil dos colmos disponível na touceira avaliada foi de aproximadamente 6,5t, caso houvesse um corte raso. A densidade aparente média dos colmos de *Bambusa tuldooides* encontrada foi $523,8\text{kg}/\text{m}^3$ com D.P. de $37,4\text{kg}/\text{m}^3$ e C.V. de 25%. Valor menor que $700\text{kg}/\text{m}^3$, correspondente à densidade média da “madeira” maciça do colmo de *Bambusa tuldooides*, apresentada por Oliveira (2012). Esse valor menor era esperado devido ao ar contido dentro dos colmos inteiros. A densidade aparente das vigas cilíndricas, mostrada na tabela 4, tem valor menor que a densidade aparente dos col-

mos inteiros, pois um feixe de colmos apresenta mais espaços vazios que um colmo isolado. Esses resultados também eram esperados. Junto ao valor do diâmetro médio das vigas, foram adicionados os valores máximos e mínimos que contêm 95% dos valores medidos. Esse resultado mostra que a variação do diâmetro médio efetivo é menor que 13,8%, ou seja: com a técnica construtiva adotada, a viga pode ser considerada praticamente como um cilindro.

Na tabela 5, são mostradas algumas características dos painéis de colmos de *Bambusa tuldooides* e embalagens PET de 2L.

Tabela 5. Algumas características do painel de bambu / PET

n° de colmos/m ²	18 - 19
n° de PET de 2,5 L/m ²	40
Massa do painel (kg/m ²)	11,6
Dimensão máxima do painel produzido (m)	3 x 3
Espessura média do painel (cm)	5

Foram produzidos vários painéis de colmos fixados com as embalagens PET. Usando essa técnica, é possível construir paredes inteiras. Na figura 4, um painel de bambu / PET foi usado na construção de uma parede de 9m², sendo 3m de largura e 3m de comprimento. Esse material tem potencial para ser usado na construção civil: paredes inteiras podem ser feitas no solo usando essa técnica como um material pré-fabricado. Além disso, o material permite o uso combinado com outros tipos de materiais, como resinas, telas metálicas, cerâmicas e cimentos. A técnica de fixação dos colmos com embalagens PET termoformadas, como mostrado na figura 3 permite a construção de painéis com grande área superficial, usando colmos de bambus inteiros, sem precisar usinar os colmos, reduzindo-os a pequenas tábuas ou lâminas. Com isso, o aproveitamento total do colmo é maior, como mostraram Salamon (2007) e Ostapiv (2011). É uma forma simples e barata de produzir painéis sem precisar de equipamentos grandes e caros como prensas, fresadoras, tornos e faqueadoras e insumos químicos como colas e resinas.



Figura 4. Uso dos painéis em parede com abertura após conformação térmica

Há um ponto importante a ser ressaltado sobre a proteção dos colmos pelo revestimento com as embalagens PET. A construção desse tipo de material nunca deve ser feita com colmos verdes, mas somente com colmos secos. Caso sejam usados colmos verdes, ou seja, com alto teor de umidade, e os mesmos forem revestidos com embalagens PET termoformadas, a água livre contida no material lignocelulósico dos colmos não conseguirá sair do interior da viga, promovendo um ambiente úmido dentro da viga que induzirá o aparecimento de fungos que podem apodrecer os colmos. Nesse caso, o revestimento com PET não funcionará como barreira de proteção contra a umidade. Pelo contrário, manterá a umidade no interior do material composto, efeito indesejado para materiais a serem usados na construção civil.

Conclusões

1. A avaliação da touceira de *Bambusa tuldooides* mostrou que uma touceira adulta pode produzir aproximadamente 1.033 colmos ou 6,5 toneladas de colmos secos.
2. Mostrou ainda que o número de colmos por metro quadrado na touceira varia, sendo menor na região central e maior na região intermediária, e que a maioria dos colmos jovens se encontram na região periférica. Esses valores, no entanto, dependem do manejo adotado.

3. A partir de uma touceira adulta de bambu e embalagens PET de diversos tamanhos foi possível obter peças para construção civil popular, tais como vigas, caibros e painéis. O processo de produção desses materiais compostos é simples, mas envolve uma grande quantidade de embalagens e trabalho manual de preparação.

4. A medição da densidade aparente mostrou que os materiais desenvolvidos são mais leves que a grande maioria das madeiras maciças existentes. Esse tipo de material pode ser usado em combinação com resinas, telas metálicas e cimentos, possibilitando várias outras soluções construtivas.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. **9º Censo da reciclagem de PET no Brasil. O ano 2012.** 2013.
- ANON. Curso Básico Intensivo de Plásticos. Poli (terefalato de etileno). **Jornal de Plásticos**, 1997.
- ARCE-VILLALOBOS, O. A. **Mechanical properties of bamboo – Fundamentals of the Design of Bamboo Structures.** Eindhoven: 2002. Technische Universiteit. Tese de Doutorado.
- BANSAL, A. K.; ZOOLAGUD, S.S. Bamboo composites: material of the future. **Journal of Bamboo and Rattan, Kerala Forestry Research Institute**, p. 119-130. Kerala, India, March 2002.
- BERNDSEN, R.S.; KLITZKE, R.J.; BATISTA, D.C.; NASCIMENTO, E.M.; OSTAPIV, F. Resistência à flexão estática e compressão paralela do bambu mossô (*Phyllostachys pubescens*). **Revista Floresta**, v.43, n.3, p.485-494, jul/set 2013.
- COLLI, A.; NASCIMENTO, A.M.; XAVIER, L.M.; RUBIM, I.B. Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino, do *Bambusa tuldooides* (Munro). **Floresta e Ambiente**, v.14, n.1, p.56-64, 2007.
- DUNKELBERG, K.; FRITZ, J. **Bamboo as a building material.** Stuttgart: University of Stuttgart, 1985.
- ESPÍRITO SANTO, F.D.B.; SILVA, B.S.G.; SHIMABUKURO, Y.E.. Detecção da dinâmica da floresta de bambu no sudoeste do Acre com o uso de técnicas de processamento de imagens de satélite. **Anais XI SBSR**, p.649-656, abril 2003.
- GHAVAMI, K. Bambu: um material alternativo na Engenharia. **Revista Engenharia**, n.492, p.23-27, 1992.
- GORNI, A.A. Dossiê PET. **Revista Plástico Industrial**, p.48-61, 2000.
- GRECO, T; CROWBERG, M. **Bambu: cultivo e manejo.** Florianópolis: Insular, 2011.
- KAMRUZZAMAN M.; SAHA S.K.; BOSE A.K.; ISLAM M.N. Effects of age and height on physical and mechanical properties of bamboo. **Journal of Tropical Forest Science**, 20(3), p.211-217, 2008.

- KHATRY, R.; MISHRA, D.P. Finite element analysis of bamboo column along with steel socket joint under loading condition. **International Journal of Applied Engineering Research**, v.7, n.11, p.1247-1251. Índia, 2012.
- LONDOÑO, X.; VILLEGAS, M. **New bamboo – Architecture and Design**. Villegas Editores: Bogotá, Colômbia, 2003.
- LÓPEZ, O.H. **Manual de construcción con bambú**. Cali: Estudios Técnicos Colombianos Ltda – Editores. Universidad Nacional de Colombia, 1981.
- LÓPEZ, O.H. **Bamboo the gift of the gods**. Bogotá: D’Vinni Ltda, 2003.
- MOIZÉS, F.A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade Estadual Paulista de Bauru, 2007.
- OLIVEIRA, M.F.A. **Propriedades físico-mecânicas de duas espécies de bambu termorretrificadas: *Bambusa tuldoides* Munro e *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière**. 2012. Dissertação de Mestrado. Seropédica: Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2012.
- OSTAPIV, F.; GONÇALVES, M.T.T. Avaliação da estrutura de um bambuzal de mossô (*Phyllostachys pubescens*) no Município de Fazenda Rio Grande – Paraná. In: **Anais do II Seminário da Rede Brasileira do Bambu – RBB, Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais – CPAB / UnB**. Brasília, 2010.
- OSTAPIV, F. **Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu**. Tese de Doutorado. Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2011.
- PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6 Editora, 2013.
- SALAMON, C. **Ensaios para viabilizar a laminação do bambu *Dendrocalamus giganteus* em operações de torneamento sem centros**. Tese de Doutorado. Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Unesp, 2009.
- UBIDIA, J.A.M. Traditional bamboo preservation methods in Latin America. **Technical reports**, n.25, 72p. INBAR, Ecuador, 2002.
- WANG, Q.H.; HUANG, B.H. **Chinese moso bamboo**. Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1996.
- WANG, H.W.; VARMA, R.V.; TIANSEN, X. **Insect pests of bamboos in Asia: an illustrated manual**. Pequim: International Network for Bamboo and Rattan, 1998.
- YU, X. **Bamboo: structure and culture – utilizing bamboo in the industrial context with reference to its structural and cultural dimensions**. Tese de Doutorado. Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen, 2007.
- YULONG, D. **Morphologic and taxonomic characteristics of bamboos – Bamboo Research Institute**. Nanjim: Nanjing Forestry University, 2006.
- ZHOU, F.C. **Silvicultural management of bamboo stands**. Pequim: High Education Press, 1958.
- ZHOU, F.C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v.2, p.1-32, 1981.
- ZHOU, F.C. A technical report on high yield of bamboo stands. **Bamboo research**, v.5. 1986.
- ZHOU, F.C. Mechanical properties of bamboo-wood. **Cultivation & Integrated Utilization on Bamboo in China**. Ed. CBRC – China National Bamboo Research Center, p.119-125, Hangzhou, China, 2003.



Esquadrias de bambu laminado colado

Maximiliano dos Anjos Azambuja⁽¹⁾, Stella Bruna Ananias Affonso⁽²⁾, Rosane Aparecida Gomes Battistelle⁽¹⁾, Ivaldo De Domenico Valarelli⁽³⁾, Marco Antonio dos Reis Pereira⁽³⁾, Sérgio Augusto Mello da Silva⁽⁴⁾ e Francisco Antonio Rocco Lahr⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DEC), Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), Universidade Estadual Paulista (Unesp). Av. Engenheiro Luís Edmundo Carrijo Coube, 1401, Vargem Limpa, 17033-360. Bauru, SP. E-mails: maximilianoazam@feb.unesp.br, rosane@feb.unesp.br

⁽²⁾ Departamento de Arquitetura e Urbanismo (FAAC), Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), Universidade Estadual Paulista (Unesp). Av. Engenheiro Luís Edmundo Carrijo Coube, 1401, Vargem Limpa, 17033-360. Bauru, SP. E-mail: stellaaffonso@hotmail.com

⁽³⁾ Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), Universidade Estadual Paulista (Unesp). Av. Engenheiro Luís Edmundo Carrijo Coube, 1401, Vargem Limpa, 17033-360. Bauru, SP. E-mails: ivaldo@feb.unesp.br e pereira@feb.unesp.br

⁽⁴⁾ Departamento de Engenharia Civil (DEC), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (Feis), Universidade Estadual Paulista (Unesp). Alameda Bahia, 550, 15385-000, Ilha Solteira, SP. E-mail: sams@dec.feis.unesp.br

⁽⁵⁾ Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). Avenida Trabalhador São-Carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP. E-mail: frocco@sc.usp.br

Resumo – A eficácia da produção de esquadrias de bambu laminado colado para edificações está associada ao conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas. O presente estudo visou às caracterizações física e mecânica de lâminas de bambu de esquadrias fabricadas a partir da laminação de colmos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, com aplicação do adesivo SikaBond. Neste trabalho são apresentados os módulos básicos desenvolvidos para montagem das esquadrias. Utilizaram-se métodos descritos em normas técnicas para realização dos ensaios de umidade e densidade em lâminas de Bambu; de cisalhamento na lâmina de cola; de flexão estática em vigas; de resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados, e resistência à flexão na esquadria. Os resultados dos ensaios de umidade e densidade evitaram falhas no processo de colagem das lâminas, e os resultados de resistência ao cisalhamento, resistência e de rigidez à flexão foram compatíveis aos valores de referência estabelecidos nas normas NBR 7190 e NBR 10821-3. As deformações máximas obtidas nas esquadrias



no ensaio de resistência ao esforço horizontal e de resistência à flexão indicam um desempenho eficaz das esquadrias. Pode-se concluir que os resultados obtidos, detalhamentos e representações apresentados na pesquisa indicam o elevado potencial de exequibilidade de esquadrias de bambu laminado colado.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: DENDROCALAMUS GIGANTEUS, JANELAS, BAMBU LAMINADO COMPOSTO.

Glued Laminated Bamboo Window Frames

Abstract – *The effectiveness of the production of glued laminated bamboo window frames for buildings is associated with the knowledge of its physical and mechanical properties. The present study aimed to characterize, physically and mechanically, bamboo strips from window frames produced from the lamination of bamboo culms of the Dendrocalamus giganteus species, with the application of SikaBond adhesive. The basic modules developed for the production of window frames are displayed in this work. We used methods described in technical standards for carrying out different kinds of tests, such as: moisture and density tests in bamboo strips; glue line shear tests; static bending tests in bamboo beams; horizontal shear strength tests on the flange plane, with two fixed points; and bending strength tests on the window frame. The results of the moisture and density tests prevented errors in the bonding process of the bamboo strips; and the shear strength and static bending in bamboo beams test results were compatible with the reference values of the NBR 7190 e NBR 10821-3 standards. The maximum deformation obtained in the frames in the horizontal shear strength tests and bending strength tests on the window frame indicate an effective performance of the frames. We conclude that the results of the tests, the detailing and the representations presented in the study indicate a high potential for the production of glued laminated bamboo window frames.*

INDEX TERMS: DENDROCALAMUS GIGANTEUS; WINDOW FRAMES; LAMINATED BAMBOO COMPOSITE.

Introdução

Vegetal renovável, de baixo custo e com excelentes características físicas e mecânicas, o bambu pode contribuir para a melhoria nas condições de habitabilidade das moradias, seja na composição de diversos móveis ou de elementos estruturais em residências populares ou em edifícios mais elabora-

dos. Devido à sua versatilidade, o bambu é um dos materiais mais antigos utilizados pela humanidade. Seu uso na engenharia é notado desde a era 300 a.C. na China, quando cabos de bambu foram empregados na construção de pontes suspensas. Após a execução dessas pontes, estruturas treliçadas como cúpulas, andaimes e coberturas tornaram-se usuais nas construções, principalmente nos países asiáticos. As técnicas de construção desenvolvidas na Índia durante esse período são até hoje empregadas em países como Tailândia, Taiwan e Indonésia, com as aplicações mais diversas, como casas, móveis, cercas, pontes, utensílios domésticos, vasos para armazenamento de água, ladrilhos para piso, brinquedos, instrumentos musicais e produção de papel. Levando em consideração a durabilidade das obras construídas pelos povos asiáticos, é comprovada a eficiência desse material para a construção civil (Sánchez Cruz, 2002).

A busca por produtos ecologicamente corretos, tão em voga na sociedade contemporânea, também ocorre no âmbito da habitação, um dos objetos de estudo que envolve diversos aspectos ligados à sustentabilidade. Dentro desse contexto, o bambu tem sido apontado como um material de extremo interesse. Mahdavi et al. (2012) descrevem o bambu como um material construtivo sustentável, destacando a grande quantidade de carbono sequestrada pela espécie, além de seu rápido crescimento, possibilitando seu uso intensivo pela indústria da construção civil.

Contudo, devido à carência de informações técnicas a respeito dos materiais locais, os consumidores procuram cada vez mais produtos industrializados. Vale lembrar que, na atual fase do processo de industrialização, a escolha de materiais baseia-se, sobretudo, no preço e na facilidade de processamento (Ghavami, 2004).

Embora seja amplamente utilizado no Ocidente em funções não estruturais – como nos casos de pavimentação, vedação, mobiliário, objetos de arte e ornamentação –, em países asiáticos, por exemplo, o bambu ainda é visto como um material artesanal, sendo utilizado em construções de baixa tecnologia (Mahdavi et al., 2011). No entanto, devido à sua resistência, flexibilidade e versatilidade, tem sido largamente empregado na composição de pilares, paredes, moldura de janelas, vigas e telhados.

Como a habitação é uma das principais formas de representação social, ainda existe rejeição por parte da população ao uso do bambu como material construtivo devido à sua associação com a pobreza (Flander & Rovers, 2009). O artigo, entretanto, apresenta o bambu como um material moderno e isento de desperdícios, já que as partes não utilizadas na obtenção de vigas e colunas são aproveitadas na produção de papel e de carvão de bambu, entre



outras peças. Assim, o bambu é apresentado como uma alternativa ao uso do concreto e do tijolo, além de ser um material capaz de competir com a madeira, tendo sobre ela uma grande vantagem: a colheita de sua floresta é anual.

A deficiente bibliografia para a exploração adequada do bambu, aliada à falta de familiaridade com o material que até pouco tempo foi muito rejeitado por diversos fatores – entre eles a sua ligação com as habitações de baixa renda – dificulta a eficácia dos projetos e aumenta os custos relativos à produção inicial de bambu laminado colado. Porém, com o avanço das pesquisas e com a popularização de seu uso, o bambu tende a ser um material mais acessível e frequente nesses elementos construtivos.

Nesse contexto, o estudo das esquadrias que compõem a edificação é importante, pois elas devem adaptar-se às diferentes condições de exposição ao ambiente, agentes mecânicos, térmicos, químicos e biológicos que afetam suas condições de uso. A força da gravidade e as vibrações externas à edificação promovem deformações estruturais que afetam a construção como um todo, o que inclui a esquadria (Ino et al., 1998). Já as cargas externas, como a pressão da chuva e do vento, exigem do conjunto um desempenho capaz de evitar as deformações responsáveis pela entrada de água. O material utilizado deve suportar esforços como choques e impactos, evitando, dessa forma, a perda das características originais.

Assim, os autores (Ino et al., 1998) atribuem ao desenho adequado e ao material utilizado na esquadria a responsabilidade pelo bom funcionamento do conjunto. Bom funcionamento este que, em relação às necessidades do usuário, pode ser resumido em quatro tipos de desempenho: 1. estrutural – a esquadria deve permanecer em condições de utilização sem perder suas características originais; 2. quanto à utilização – segurança do usuário, esforços na abertura e fechamento das folhas e manutenção da esquadria; 3. estanqueidade – vedação adequada aos ruídos, vibrações, ar, água, insetos, entre outros; e 4. durabilidade – conservação da janela e resistência às agressões e à própria utilização.

Os procedimentos de ensaios recomendados em normas técnicas e mais utilizados para avaliação de esquadrias são: resistência ao esforço horizontal – no plano da folha, com dois cantos imobilizados – e resistência à flexão na esquadria. Em seu estudo, os autores concluíram que as espécies de madeira estudadas na produção de esquadrias podem sim competir no mercado com as janelas metálicas. Porém a falta de madeira destinada à produção de esquadrias e demais componentes construtivos e a baixa exigência de qualidade das esquadrias no mercado geral são somente alguns problemas que ilustram as dificuldades ainda encontradas para tal produção.



Dentro desse contexto, a fabricação em laboratório de esquadrias de bambu laminado colado, da espécie *Dendrocalamus giganteus*, foi um desafio. O material utilizado estava disponível na Área Experimental Agrícola Unesp/FEB e o delineamento experimental aplicado envolveu etapas de extração dos colmos do bambu, produção e caracterização de bambu laminado colado e avaliação de componentes de esquadrias, a saber: 1- retirada dos colmos de bambu com idade adequada para obtenção de lâminas; 2- procedimentos de usinagem, tratamento preservativo, secagem, usinagem das lâminas, colagem das lâminas de bambu; 3- ensaios de umidade, densidade, cisalhamento na lâmina de cola e flexão estática no bambu laminado colado; 4- estudo dos tipos de encaixes e modulação, detalhes construtivos, produção das peças de bambu laminado colado, usinagem dos módulos, produção das esquadrias, ensaios nas esquadrias de resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados e resistência à flexão de esquadrias.

A originalidade desta pesquisa refere-se à produção e caracterização de esquadrias, tipo veneziana, de bambu laminado colado da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Material e métodos

Os colmos foram coletados com aproximadamente 10 metros de comprimento e forneceram 60 lâminas, desconsiderando-se as perdas inerentes ao processo. Foi utilizado o tratamento preservativo, pelo Método de Imersão, que consiste na submersão das taliscas dentro de um tanque com a solução de octaborato de sódio (uma composição de ácido bórico e bórax numa proporção específica de 1:1.4) (Liese & Kumar, 2003). Foi realizado um estudo dos tipos, encaixes e modulação para produção das esquadrias de bambu laminado colado. Foram realizados também os seguintes ensaios: umidade e densidade em lâminas de bambu; ensaio de cisalhamento na lâmina de cola em bambu laminado colado; e ensaio de flexão estática em bambu laminado colado, de acordo com as normas ISO 22157-1 (2003) Bamboo – Determination of physical and mechanical properties e NBR 7190 (1997) Projeto de estruturas de madeira. Todos os ensaios foram realizados antes da produção das esquadrias de bambu laminado colado. Após a produção das esquadrias, realizou-se, de forma original, os ensaios de resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados; e resistência à flexão para esquadrias, de acordo com a norma NBR 10821-3 (2011) Esquadrias externas para edificações – Parte 3: Métodos de ensaio.



ESTUDOS DOS TIPOS, ENCAIXES E MODULAÇÃO - A esquadria modular de bambu projetada consistiu na junção de módulos por meio de interfaces e interações, facilitando a montagem da estrutura e seus componentes. O modelo consumiu aproximadamente 600 metros de lâminas de bambu, para todos os módulos. A produção de modulares é uma das formas de otimizar o processo construtivo, uma vez que possibilita o aumento da produção e a redução de custos. O resultado alcançado foi uma veneziana em bambu de correr com dimensão 120 cm x 120 cm (figura 1) composta por uma folha de vidro e duas folhas venezianas de bambu. Em uma das folhas de bambu foi fixada uma tela para reduzir a ventilação, de acordo com a necessidade do usuário.

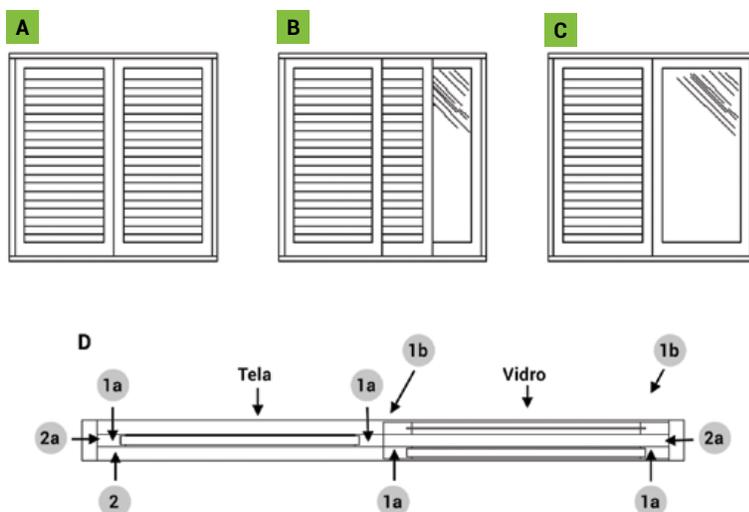
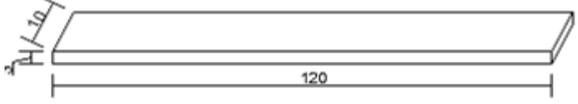
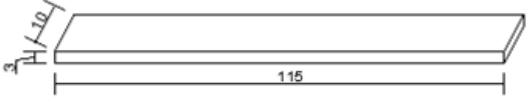
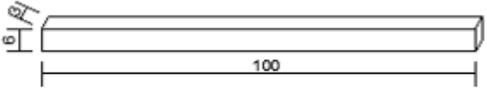
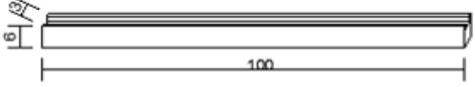
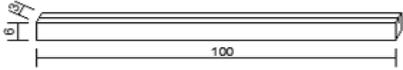
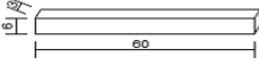


Figura 1. (A) Projeto da esquadria de bambu laminado colado com entrada de ar; (B) vista frontal da esquadria com suas três folhas; (C) esquadria adequada para permitir iluminação interna; (D) esquadria em corte. As numerações 1a, 1b, 2 e 2a são módulos básicos projetados para composição da esquadria de e suas adaptações.

A Tabela 1 apresenta os módulos básicos propostos para execução das esquadrias de bambu laminado colado

Tabela 1. Módulos básicos para composição da esquadria e suas adaptações

Nume- ração	Detalhes dos componentes	Seção transversal
1	 <p>10 cm (largura) x 120 cm (comprimento) x 3 cm (espessura)</p>	
1 ^a	 <p>10 cm (largura) x 115 cm (comprimento) x 3 cm (espessura)</p>	
2	 <p>3 cm (largura) x 100 cm (comprimento) x 6 cm (espessura)</p>	
2 ^a	 <p>3 cm (largura) x 100 cm (comprimento) x 6 cm (espessura)</p>	
2b	 <p>3 cm (largura) x 100 cm (comprimento) x 6 cm (espessura)</p>	
3	 <p>3 cm (largura) x 60 cm (comprimento) x 6 cm (espessura)</p>	

O módulo 1, em seu tamanho original (120 cm de comprimento), foi empregado horizontalmente na formação do caixilho da esquadria, em conjunto com a peça 1a posicionada na vertical. Os módulos 2 e 3 foram utilizados para a composição das folhas, tanto a de vidro quanto a ventilada. Para a formação da folha ventilada, foi executado um corte de 2cm de largura x 1cm de profundidade no módulo 2, que acomodou os entalhes para encaixe das lâminas inclinadas, formando a peça 2a. Dessa forma, para a fixação do vidro, foi feito um corte de 3 mm de espessura x 1 cm de profundidade, ainda com base no módulo 2, formando-se a peça 2b. Para a sustentação superior e infe-

rior de todas as folhas, foi utilizado o módulo 3, com comprimento de 60cm. Para a realização dos cortes e entalhes necessários ao processo, utilizou-se uma fresadora automatizada.

COLAGEM DAS LÂMINAS - Neste trabalho, foi utilizada uma prensa para fabricação de vigas de bambu laminado composta. Essa prensa encontra-se no Laboratório de Experimentação em Bambu da Faculdade de Engenharia da Unesp Bauru. O adesivo proposto nesta pesquisa foi aplicado por meio de pincel e a peça de bambu laminado colado foi lentamente prensada. A peça permaneceu na prensa por 24 horas, em temperatura ambiente, até a completa cura do adesivo. Após esse tempo, foi utilizada uma serra circular esquadrejadeira para o corte das peças.

Antes de realizar o procedimento de colagem das lâminas de bambu, foi necessário estabilizar sua umidade na estufa em aproximadamente 12%. Para a colagem das peças, utilizou-se 350 g/m² do adesivo SikaBond T54 FC, indicado para pranchas, painéis, tábuas, parquet industrial, mosaicos, pavimentos residenciais de madeira e chapas de fibra de madeira. A aplicação do adesivo, por meio de pincel, deve ser feita de modo integral na superfície. O SikaBond T54 FC é certificado com EMICODE EC 1 “emissão muito baixa” e GISCODE PU 10 “isento de solvente”. Sua base química constitui-se de poliuretano e sua densidade é de 1,25 kg/ litro.

RESISTÊNCIA AO ESFORÇO HORIZONTAL, NO PLANO DA FOLHA, COM DOIS CANTOS IMOBILIZADOS - Foi aferida a resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados, seguindo as especificações do anexo I da Norma NBR 10821-3 (2011). A esquadria, na posição intermediária, entre abertura e fechamento e com os dois vértices imobilizados, foi submetida a um esforço horizontal aplicado ao puxador, no sentido de promover o seu fechamento. Utilizou-se um conjunto de contrapesos formado por peças de 5 kg. O conjunto estava calçado com material isento a deformações, com cantos imobilizados para travamento das folhas. No centro do perfil foi aplicada uma força de até 600 N, com carregamento progressivo, de incremento igual a 50 N, com o objetivo de executar o seu fechamento.

O esquema de ensaio é ilustrado na figura 2, com o sistema de aquisição de dados por computador e o posicionamento dos defletômetros utilizados para medir os deslocamentos (equipamento disponível no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Unesp).



Figura 2. Sistema de aquisição de dados (computador); pontos 1, 2 e 3 de medição de deslocamentos com defletômetros; pontos 4 e 5 de fixação; ponto 6 de aplicação da carga; ponto 7 de deslocamentos no plano da folha, com dois cantos imobilizados, máximo deslocamento (carga máxima) de 60 kg

RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA ESQUADRIAS - A avaliação da resistência à flexão foi realizada seguindo as recomendações do anexo J da Norma NBR 10821-3 (2011). Nesse caso, no puxador da esquadria, com a folha na posição intermediária entre abertura e fechamento, aplicou-se um esforço horizontal no sentido do interior para o exterior e vice-versa. Foi utilizado um conjunto de contrapesos formado por peças de 5 kg. A esquadria deve ser instalada em posição vertical, num suporte rígido. A carga aplicada deve atingir a folha móvel mais interna e, nos carregamentos de dentro para fora, a folha móvel mais externa. No centro do perfil, aplicou-se uma força horizontal e perpendicular à folha de até 600 N, com carregamento progressivo, de incremento igual a 50 N. Após 3 minutos de aplicação da força, foi feita a retirada das cargas e a avaliação visual da esquadria. Para avaliar os defeitos, todas as partes móveis do corpo de prova (no caso: esquadria de bambu laminado colado) devem ser submetidas a cinco ciclos completos de abertura, fechamento e travamento.

O esquema de ensaio ilustrado na figura 3, com posicionamento dos defletômetros, foi utilizado para medir os deslocamentos máximos e residuais para o ensaio de flexão estática na esquadria de bambu laminado colado.



Figura 3. Sistema de fixação e imobilização da esquadria com aplicação da carga para medição da flexão; pontos 1 e 2 de fixação; ponto 3 de aplicação da carga; pontos 4, 5 e 6 de medição de deslocamentos com defletômetros; ponto 7 de deslocamentos no plano da folha, com dois cantos imobilizados, máxima deformação (carga máxima) de 60 kg; ponto 8 de deslocamento residual após carregamento máximo

Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios diagnósticos realizados antes da colagem definitiva dos módulos das esquadrias de bambu laminado colado são apresentados na tabela 2 (a média refere-se a 12 corpos de prova para cada ensaio realizado). Na tabela são apresentados os resultados referentes à umidade e densidade das lâminas, à resistência ao cisalhamento, resistência e rigidez na flexão estática do bambu laminado colado.

Tabela 2. Resultados das médias da umidade e densidade em lâminas; resistência ao cisalhamento, resistência e rigidez à flexão em bambu laminado colado

Umidade Natural (%)	Média	17,78
	Desvio Padrão	0,49
	Coeficiente de variação (%)	2,76
Densidade sbas kg/m ³	Média	694
	Desvio Padrão	33
	Coeficiente de variação (%)	4,75
Cisalhamento fgv (MPa)	Média	9,15
	Desvio Padrão	1,00
	Coeficiente de variação (%)	10,92
Flexão fM (MPa)	Média	103
	Desvio Padrão	10
	Coeficiente de variação (%)	9,54

A secagem do bambu torna-se uma operação indispensável para as etapas seguintes de seu processamento, tais como a usinagem e a colagem das lâminas. Os resultados obtidos do teor de umidade, no período de secagem, permitiram a avaliação da estabilização da umidade antes das operações de colagem. A densidade média do bambu *Dendrocalamus giganteus*, de 694 kg/m³, pode ser comparada, por exemplo, com a densidade de madeiras de reflorestamento com potencial para a fabricação de móveis – *Araucaria angustifolia* (580 kg/m³), *Pinus caribea* var. *hondurensis* (535 kg/m³) ou *Eucalyptus grandis* (640 kg/m³), conforme norma NBR 7190 (1997).

Não ocorreram falhas na condução dos ensaios de resistência ao cisalhamento, resistência e rigidez na flexão estática do bambu laminado colado. A tabela 3 apresenta os resultados de resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados. Atenção especial deve ser dada às deformações máximas (D_{máx}) e residuais.

Tabela 3. Resultados dos deslocamentos máximos e residuais após a aplicação e retirada da força, no plano da folha, com dois cantos imobilizados

Carga (kg)	Deslocamentos (mm)		
	D1	D2	D3
5	0,0	0,1	0,0
10	0,0	0,4	0,0
15	0,0	0,6	0,0
20	0,0	1,0	0,0
25	0,0	1,2	0,0
30	0,0	1,6	0,1
35	0,0	2,0	0,1
40	0,0	2,3	0,1
45	0,1	2,7	0,1
50	0,1	3,1	0,1
55	0,1	3,6	0,1
60	0,1	4,0	0,2
Após 3 minutos (60 kg)	0,1	4,3	0,2
Residuais (sem carga)	0,1	1,2	0,2
Dmáx		4,2	

* D1, D2 e D3 são os deslocamentos em mm, medidos com defletômetros.

A deformação máxima de 4,2 mm aferida pelo ensaio de resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados na esquadria de bambu laminado colado, indica uma produção eficaz da esquadria. Esse deslocamento ocorreu para um carregamento de 60 kg, ou seja, o dobro de 30 kg recomendado pela norma ABNT NBR 10821. As acomodações após carregamento e procedimento de abertura e fechamento da esquadria não prejudicaram o fechamento perfeito da esquadria, efeito justificado pela anatomia do bambu e suas propriedades elásticas.

A tabela 4 apresenta os resultados dos deslocamentos máximos e residuais após o ensaio de resistência à flexão. Atenção especial deve ser dada aos deslocamentos máximos (Dmáx) e residuais.

Tabela 4. Resultados dos deslocamentos máximos e residuais após o ensaio de resistência à flexão na esquadria de bambu laminado colado

Carga (kg)	Deslocamentos (mm)		
	D1	D2	D3
5	0,7	0,1	0,0
10	2,3	0,1	0,1
15	3,1	0,1	0,2
20	4,8	0,3	0,4
25	6,0	0,4	0,6
30	7,0	0,4	0,8
35	8,3	0,5	1,1
40	10,0	0,7	1,9
45	11,5	0,8	2,1
50	12,7	1,0	2,3
55	14,3	1,1	2,8
60	15,9	1,1	3,1
Após 3 minutos (60 kg)	16,9	1,3	3,3
Residuais (sem carga)	1,5	0,6	1,3
Dmáx	8,8		

* D1, D2 e D3 são os deslocamentos em mm, medidos com defletômetros

Obteve-se o deslocamento máximo de 8,8 mm no ensaio de flexão estática realizado na esquadria de bambu laminado colado para um carregamento de 60 kg. Após acomodações, realizaram-se cinco ciclos completos de abertura, fechamento e travamento. A norma ABNT NBR 10821-3 (2011) recomenda um procedimento de inspeção visual para verificar separações, distorções, rachaduras e/ou protuberâncias que podem prejudicar a qualidade da esquadria. Após análise visual, não foi identificada a ocorrência de defeitos na esquadria.

Conclusões

Pode-se concluir que o trabalho atingiu seu objetivo, visto que as propriedades originais do modelo proposto foram mantidas mesmo após a aplicação das cargas prescritas por normas técnicas. As diretrizes das normas guiaram as análises e os resultados confirmaram a eficácia do bambu *Dendrocalamus giganteus* para a produção de esquadrias em bambu laminado colado. De forma sucinta, destaca-se:

1. O estudo diagnóstico para avaliação da colagem das lâminas de bambu comprovou a eficiência da aplicação do adesivo SikaBond T54;
2. Os resultados obtidos para os ensaios de resistência ao cisalhamento, resistência à flexão e da rigidez do bambu laminado colado podem contribuir para a discussão de valores de referência em normas brasileiras;
3. Após os ensaios de resistência ao esforço horizontal, no plano da folha, com dois cantos imobilizados e resistência à flexão para esquadrias, não foi identificada, por meio de inspeção visual, a ocorrência de defeitos na esquadria. Não foi possível comparar os resultados de resistência da esquadria de bambu laminado colado com a literatura, pois não se encontrou, até o momento, artigos científicos com estudos semelhantes;
4. O estudo dos módulos básicos para composição da esquadria e suas adaptações facilitou a montagem da estrutura e seus componentes, portanto foi projetado adequadamente para racionalizar o processo de fabricação e acelerar o processo de montagem. Os detalhamentos de projeto e as representações apresentadas indicam o elevado potencial de exequibilidade de esquadrias de bambu laminado colado.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo apoio financeiro (processo nº 2012/20985). As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste artigo são de responsabilidade dos autores e não necessariamente refletem a visão da Fapesp.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Esquadrias externas para edificações – Parte 3: métodos de ensaio**. NBR 10821- 3 – Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de madeira**. NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997.
- FLANDER, K.; ROVERS, R. One laminated bamboo-frame house per hectare per year. **Construction and Building Materials**, v.23, n.1, p.210-218, jan., 2009.
- GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement and Concrete Composites**, v.27, n.6, p.637-349, jul., 2004.



- INO, A.; SHIMBO, I.; SOUZA, A.J.D. Otimização do processo de fabricação de esquadrias de madeira no centro produtor da Região Sul e desenvolvimento de janelas de baixo custo para habitação social. **Relatórios de Pesquisa Finep**. São Carlos: BESC-USP. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, v.1, 2 e 3, 800p., mar., 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 1: requirements**. ISO 22157-1, 2004.
- LIESE, W.; KUMAR, S. **Bamboo preservation compendium**. Centre for Indian Bamboo Resource and Technology, INBAR, INBAR technical report, New Delhi, India, 231p., 2003.
- MAHDAVI, M.; CLOUSTON, P.L.; ARWADE, R. **A low-technology approach toward fabrication of Laminated Bamboo Lumber**. **Construction and Building Materials**, v.29, n.1, p.257-262, abr., 2012.
- MAHDAVI, M.; CLOUSTON, P.L.; ASCE, A.M.; ARWADE, S.R. Development of laminated bamboo lumber: review of processing, performance, and economical considerations. **Journal of Materials in Civil Engineering**, American Society of Civil Engineers, ASCE, v.23, n.7, p.1036-1042, jul., 2011.
- SÁNCHEZ CRUZ, M.L. Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: comportamento à flambagem. Departamento de Engenharia Civil. Orientador: Khosrow Ghavam. 114p. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2002.





Fibras de bambu como carga de reforço em materiais compósitos: fonte alternativa, econômica e sustentável

Selma Elaine Mazzetto⁽¹⁾, Antônio Eufrazio da Costa Júnior⁽¹⁾ e Diego Lomonaco⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratório de Produtos e Tecnologia em Processos (LPT), Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, campus do Pici. Centro de Ciências, Bloco 933, CEP 60440-900, Fortaleza – CE. E-mails: selma@ufc.br, eufraziojr@yahoo.com.br, lomonaco@ufc.br

Resumo – O interesse por temas ligados ao meio ambiente é cada vez maior. A sociedade está em busca de alternativas ecológicas para substituir os materiais análogos convencionais derivados do petróleo. Ações que contribuem para um desenvolvimento equilibrado, baseadas em tecnologias limpas e saudáveis, têm sido implementadas nos últimos anos, e materiais “verdes”, obtidos a partir de matrizes derivadas de fontes renováveis, ganham espaço. Nesse contexto, merece destaque o emprego de fibras naturais. Este trabalho apresenta estudo para a obtenção de novos biomateriais (biocompósitos) a partir da combinação inédita de matérias-primas renováveis e biodegradáveis: fibras de bambu, modificadas por meio de tratamento alcalino, suportadas em matriz termorrígida, derivadas do cardanol. Suas propriedades mecânicas e térmicas e índices de cristalinidade e biodegradabilidade foram investigados em ensaios de tração, análise termogravimétrica, difração de raios-X e biodegradabilidade em solo simulado. As fibras tratadas com 10% de solução de hidróxido de sódio (NaOH) mostraram excelentes resultados em relação à fibra natural: aumento da fração cristalina (110%), estabilidade térmica (10%), módulo de elasticidade (30%) e tensão de ruptura (152%). Os biocompósitos foram avaliados via ensaio de tração e análises termogravimétricas. Em todos os materiais estudados foram encontradas melhorias significativas nas propriedades térmicas e mecânicas após tratamento alcalino das fibras.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BAMBUSA VULGARIS, CARDANOL, TRATAMENTO ALCALINO, BIOCAMPÓSITO.



Bamboo fibers as reinforcing elements in composite materials: economical and sustainable alternative source

Abstract – In recent years, society has intensified the debate on topics related to the environment by implementing actions that can contribute to a balanced development based on clean and sustainable technologies. In this regard, the emergence of “green” materials obtained from matrices derived from renewable sources has been increasing and consolidating itself as a viable, environmentally friendly alternative in replacing conventional oil derivatives. Within this context, biocomposites were developed from the combination of biodegradable raw materials: bamboo fibers supported in thermoset matrix derived from cardanol. The fibers were modified by alkali treatment. The mechanical and thermal properties, and crystallinity and biodegradability indexes were investigated by means of tensile tests, thermogravimetric analysis, X-ray diffraction and biodegradability in simulated soil. Results confirmed that the fibers treated with 10% of NaOH showed the best set of results: increased crystalline fraction (110%); thermal stability (10%); modulus of elasticity (30%) and tensile strength (152%), all compared to the natural fiber. The biocomposites were assessed by direct tensile testing and thermogravimetric analysis. In all the studied materials significant improvements were achieved in the thermal and mechanical properties after alkali treatment of the fibers.

INDEX TERMS: BAMBUSA VULGARIS, CARDANOL, ALKALINE TREATMENT, BIOCOMPOSITE.

Introdução

A escassez de reservas naturais não renováveis e a conscientização ambiental despertaram na sociedade o interesse por tecnologias ecologicamente corretas. Cada vez mais, novos materiais ganham espaço e se consolidam como opções viáveis, ecológicas e sustentáveis na substituição aos convencionais. Indústrias como a automobilística, de construção civil e de embalagens demonstram interesse crescente na pesquisa e utilização de materiais alternativos. Nesse contexto, merece destaque o emprego de fibras naturais por suas características físicas e químicas, propriedades mecânicas e baixo custo.

A exploração e a utilização dessas fibras como agentes de reforço em materiais compósitos (biocompósitos) têm apresentado resultados encorajado-



res nos últimos anos. No cenário internacional, o desenvolvimento desses materiais, baseado na combinação de fibras vegetais como agente de reforço e matrizes poliméricas derivadas de fontes renováveis, é hoje uma área de pesquisa promissora, com amplas possibilidades de aplicações.

O aumento da utilização dos biocompósitos em escala industrial se deve a muitos fatores, em especial à diminuição de custos em comparação aos materiais convencionais (compósitos à base de polímeros derivados do petróleo e fibras sintéticas) e ao potencial de biodegradação no ambiente. As fibras vegetais mais estudadas são as de sisal, coco, juta, banana e bambu.

Planta de origem asiática bem adaptada ao clima tropical e encontrada em todo o território brasileiro, o bambu (*Bambusa vulgaris*) tem despertado a atenção do meio científico, em especial nas áreas tecnológicas, por sua rápida velocidade de crescimento, rigidez e resistência mecânica.

Do ponto de vista tecnológico, porém, esse material ainda é pouco aproveitado no Brasil. Ao contrário de outras nações, como China, Índia, Equador e Colômbia, onde a cultura do bambu é largamente difundida, especialmente na construção civil, em nosso país seu uso é praticamente restrito à confecção de peças artesanais e detalhes paisagísticos.

Este trabalho visa à obtenção de novos biomateriais (biocompósitos), disponibilizados a partir da combinação inédita de matérias-primas renováveis e biodegradáveis, ou seja, fibras de bambu como agente de reforço suportado numa matriz polimérica (resina fenólica) derivada do Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC).

Assim como para o bambu, a política de agregar valor vale também para o LCC. Considerado um subproduto do agronegócio do caju, é comercializado a baixos preços e é pouco atrativo para os exportadores da castanha dessa fruta, que centralizam seus esforços apenas na obtenção das amêndoas.

Essa combinação busca minimizar o descarte indiscriminado de resíduos, que pode trazer muitos benefícios ao país, em especial para a região Nordeste. Além dos aspectos ambiental, econômico e inovador, o presente trabalho também anseia contribuir para a consolidação do uso do bambu como alternativa viável à produção de novos materiais.

O objetivo é apresentar os resultados de um estudo detalhado desses biocompósitos, assim como do agente de reforço. Para tal, foram utilizadas as técnicas de Análise Termogravimétrica (TG/DTG), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Difractometria de Raios-X (DRX), Biodegradabilidade em Solo Simulado e Ensaio Mecânico.

A natureza química e estrutural dos compostos estudados, bem como as propriedades mecânicas e o grau de cristalinidade das fibras após tratamento

químico serão discutidos conforme as prováveis modificações causadas nas fibras antes e depois do tratamento, além de alterações nas superfícies das fibras por meio da interface matriz/fibra.

Material e métodos

PREPARO E TRATAMENTO ALCALINO DAS FIBRAS - Os internódios das fibras foram separados dos colmos, os quais foram seccionados transversalmente em tamanhos de 10 cm e laminados em cavacos de cerca de 3 mm de espessura. O desfibramento e a trituração foram feitos em moinho de facas semi-industrial tipo Willey (Modelo TE-650), e as fibras obtidas passaram por peneiras de retenção de 35, 50, 60 mesh (com abertura de malha igual a 0,5, 0,297 e 0,25 mm, respectivamente) para ser usadas nas análises químicas.

As soluções utilizadas no tratamento superficial e branqueamento das fibras foram preparadas com NaOH (Vetec) e NaClO/H₂O, respectivamente. O cardanol usado no preparo do resol foi obtido do LCC técnico, fornecido pela empresa Amêndoas do Brasil Ltda. A resina epóxi (Epikote) foi obtida comercialmente da Indústria e Comércio de Produtos Químicos (pixiglass). Os reagentes formaldeído (HCHO) (37%), hidróxido de amônio (NH₄OH) (37%) e benzoato de etildimetilamina (DMB) (99%) foram todos fornecidos pela empresa Sigma Aldrich.

As fibras de bambu foram imersas em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) nas concentrações de 5% e 10% (peso/volume), em quantidades suficientes para intumescimento do material. O tratamento foi conduzido a 65 °C durante quatro horas para remoção parcial de ligninas, hemicelulose, graxas e outros resíduos. Após esse período, as fibras foram lavadas sucessivas vezes com água destilada até atingir pH=7 e, em seguida, secas à temperatura ambiente e acondicionadas sob pressão reduzida para evitar umidade. Após o tratamento prévio, as fibras foram imersas em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) 1% a 65 °C por uma hora.

OBTENÇÃO DA RESINA DO CARDANOL - O polímero resol foi obtido pela mistura do cardanol, solução de formaldeído (37%) e hidróxido de amônia (30%) nas proporções 1:2:1. A mistura permaneceu sob agitação magnética constante, em refluxo por três horas a 80 °C. Ao término do período reacional, o pré-polímero foi extraído utilizando éter etílico. A mistura foi seca com sulfato de sódio anidro, depois filtrada e concentrada.

PREPARO DOS BIOCOMPÓSITOS - O resol foi misturado à resina epóxi na presença de um catalisador de amina (benzoato de dimetilamina) nas respectivas proporções 0.93:1:0.03. Após a preparação da resina, adicionaram-se à mistura polimérica as fibras de bambu (20% da parte em peso da resina), com 35 mesh de tamanho (abertura da malha da peneira igual a 0,5 mm). Essa mistura, após sua completa homogeneização, foi transferida para um molde de alumínio (160 x 80 x 5 mm) previamente encerado com um desmoldante natural (cera de carnaúba). O biocompósito foi mantido à temperatura ambiente por 48 horas. A cura completa foi realizada em estufa a 130 °C.

Resultados e discussão

As propriedades físicas e mecânicas de compósitos reforçados com fibras naturais dependem da interação dos componentes presentes na região da interface reforço/matriz. A magnitude dessa interação é melhorada por meio da modificação da superfície das fibras, cujo objetivo é aumentar a hidrofiliabilidade, a dispersão, a mobilidade, a aderência e o grau de adesão das fibras com a matriz.

O método para modificar a superfície das fibras empregadas neste trabalho foi o da alcalinização (mercerização), um processo amplamente relatado na literatura científica (Albinante et al., 2013), com excelentes resultados para diversas fibras naturais, que tiveram suas propriedades físicas e mecânicas otimizadas ao serem submetidas a este processo. Após os diferentes tratamentos com álcali, os compósitos reforçados com fibras de bambu tiveram suas propriedades mecânicas melhoradas.

De acordo com a literatura científica, a modificação química remove parcialmente hemicelulose, lignina, resíduos e graxas solúveis em meio alcalino, provocando a diminuição no grau de agregação das microfibrilas e resultando em fibras mais resistentes. De modo geral, o tratamento químico, ao remover parcialmente os componentes solúveis em solução álcali, proporciona o melhor empacotamento das cadeias de celulose, responsáveis pela fração cristalina da fibra.

Para acompanhar a eficiência do tratamento químico nas superfícies das fibras de bambu e de seus respectivos biocompósitos, utilizou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (ver figura 1).

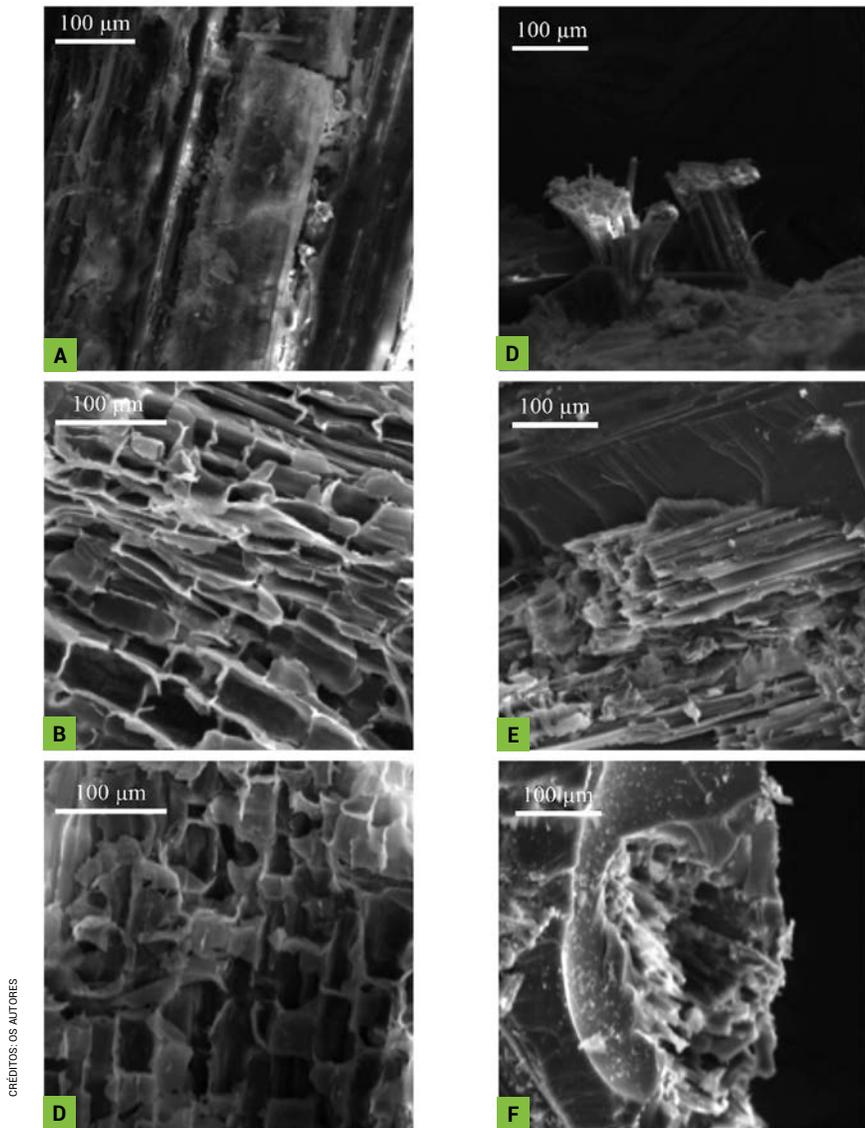


Figura 1. Microscopia Eletrônica de Varredura das fibras de bambu (A) natural, (B) tratada com NaOH 5%, (C) tratada NaOH 10%, e seus biocompósitos (D), (E) e (F), respectivamente

A figura 1a ilustra o comportamento da superfície das fibras em seu estado natural. Estas apresentam superfícies recobertas com resíduos e ceras vegetais, estruturas microfibrilares sem cavidade e, portanto, menos expostas ao contato com a matriz polimérica. As fibrilas se mostram encobertas

por uma camada de material denominado cutícula, identificado como cera de origem alifática, de natureza incompatível com a maioria dos polímeros, o que dificulta a adesão entre o agente de reforço com a matriz.

A figura 1d ilustra o compósito reforçado com fibras naturais de bambu; observa-se que há uma baixa homogeneidade com a matriz, evidenciada pela menor exposição microfibrilar das cavidades. Já a figura 1b, após o tratamento químico com NaOH 5%, revelou uma ligeira diferença devido à remoção parcial de componentes não celulósicos, como ceras, pectina, hemicelulose e lignina da superfície das fibras. Esse tratamento deixa as fibrilas mais expostas, o que aumenta o grau de interação e a adesão entre a fibra e a resina.

A figura 1c mostrou modificação mais evidente da superfície da fibra após tratamento com NaOH 10%. De acordo com as imagens apresentadas, foi verificado que ambos os tratamentos com NaOH 5% e 10% produziram modificações similares nas fibras, como aumento na rugosidade superficial, abertura de cavidade mediante a remoção parcial dos constituintes solúveis em álcalis e maior afinidade entre matriz/reforço.

A análise de MEV revelou aumento do espaçamento interfibrilar, evidenciado pelo maior grau de lixiviação da camada superficial das fibras, deixando-as mais rugosas após tratamento com NaOH 10%. A perda da camada superficial ocorre mediante a quebra das ligações que unem as cadeias poliméricas presentes na estrutura da lignina e da hemicelulose, devido à sensibilidade ao tratamento alcalino.

Com base nesses resultados, observou-se que as fibras submetidas ao tratamento com NaOH 10% apresentaram maior interação com a matriz polimérica, produzindo biocompósitos mais homogêneos como consequência da maior exposição das hidroxilas presentes na cadeia de celulose.

Estudos com fibras de bambu usando polipropileno como matriz polimérica, realizados por Beckermann e colaboradores, mostraram que há uma maior interação entre o agente de reforço e a matriz após o tratamento das fibras com NaOH 10%. Comportamento semelhante foi observado por Geethamma (1998) ao investigar compósitos utilizando matriz polimérica de poli-isopreno reforçado com fibras de coco tratadas com NaOH 10%. O mesmo resultado foi verificado por Esmeraldo e colaboradores (2010) ao estudarem a interação entre o agente de reforço e a matriz polimérica impregnada com fibra de coco.

Os padrões de difração de raios-X obtidos das fibras de bambu tratadas com NaOH revelaram picos em ângulos de difração em, aproximadamente, $2\theta = 18^\circ$ e 25° , representados pelos planos cristalográficos (101) e (002) correspondentes à fase cristalina da celulose, e de acordo com o padrão (ICSD

PDF50-2241). Por intermédio do difratograma, foi possível observar ainda o crescimento nas intensidades relativas dos picos de difração das regiões características de celulose em função do tratamento alcalino. Esse aumento está relacionado à maior exposição das estruturas de celulose, refletindo intensificação da cristalinidade das fibras.

Na tabela 1, encontram-se os índices de cristalinidade calculados conforme o método empírico de Segal e colaboradores (1959). De acordo com os dados, houve um aumento no índice de cristalinidade de todas as amostras, em especial a tratada com NaOH 10% por 48 horas. Esse crescimento está diretamente associado com a remoção parcial dos componentes não celulósicos: lignina, hemicelulose e ceras. Os resultados estão condizentes com o que foi constatado nas micrografias, em que se observou que o tratamento químico promoveu modificações nas superfícies das fibras pela remoção de seus constituintes amorfos.

Tabela 1. Índice de cristalinidade das fibras de bambu antes e após o tratamento

Fibra	Intensidade (u.a)	Posição (2 θ)	Planos (h,k,l)	Índice de cristalinidade (%)
Natural	469	17,8	101	22,97
	581	25,5	002	
NaOH 5%	488	18,0	101	45,53
	660	25,5	002	
NaOH 10%	517	18,2	101	48,28
	779	25,9	002	

FONTE: OS AUTORES

As fibras de bambu (e seus respectivos biocompósitos) foram também submetidas a ensaios mecânicos (tração direta) para se estudarem as seguintes propriedades: tensão máxima, escoamento e ruptura, percentual de alongamento, carga de ruptura e módulo de elasticidade (figura 2).

De acordo com o gráfico de tensão *versus* deformação, foi possível verificar um aumento significativo nos resultados das propriedades mecânicas das fibras tratadas, compatíveis com aqueles relatados por Esmeraldo e colaboradores (2010). Os resultados de DRX também reforçam o comportamento observado pelo aumento na cristalinidade da fibra após o tratamento químico, gerando maior resistência do material devido à alta percentagem de celulose.

Entende-se, portanto, que as propriedades mecânicas das fibras estão relacionadas não apenas com a composição química, mas também à sua estrutura interna. Os resultados das propriedades mecânicas (tensão máxima, tensão

de escoamento, tensão de ruptura, carga de ruptura, deformação e módulo de elasticidade) das fibras de bambu testadas são apresentados na tabela 2.

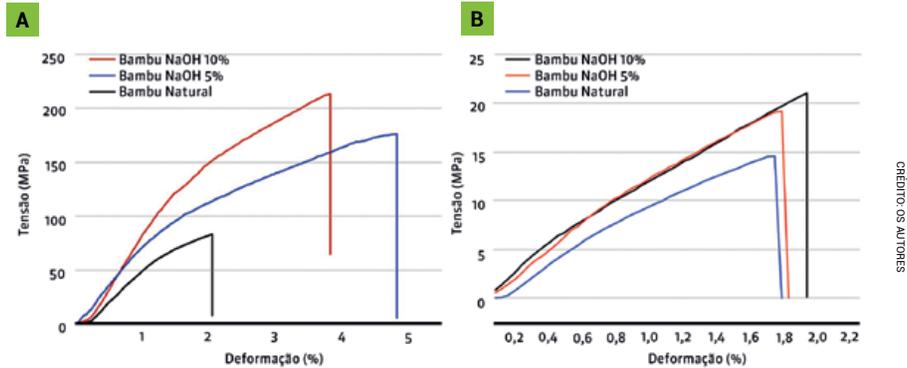


Figura 2. Ensaio de tensão-deformação das fibras de bambu (A) e de seus respectivos compósitos (B)

Tabela 2. Propriedades mecânicas da fibra de bambu

Fibra	Tensão máxima (MPa)	Tensão escoamento (MPa)	Tensão ruptura (MPa)	Carga de ruptura (N)	Deformação (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
Natural	84	79	84	164	2,05	4,1
NaOH 5%	174	140	174	250	4,82	4,6
NaOH 10%	212	177	212	358	3,98	5,3

FONTE: OS AUTORES

Conforme os dados da tabela 2, observa-se que a tensão máxima coincide com a tensão de ruptura para todas as condições das fibras estudadas, o que mostra que os materiais avaliados não sofrem estrição antes da ruptura. Ainda de acordo com os dados, pode-se perceber uma melhoria nas propriedades mecânicas das fibras após o tratamento químico. Para a tensão de ruptura houve um acréscimo de 107% e 152% para as fibras tratadas com NaOH nas concentrações de 5% e 10%, respectivamente.

Os resultados estão associados com o teor de celulose na fibra de bambu (60%) e coincidem com os dados de DRX, que mostraram o aumento proporcional do grau de cristalinidade com o tratamento alcalino. Quanto ao módulo de elasticidade (tensão dividida pela deformação, que mede a rigidez do material como resultado das forças intermoleculares), os valores médios obtidos, considerando o conjunto de 10 fios ensaiados, mostraram que as fibras que possuem maior elasticidade foram as submetidas ao tratamento com NaOH 10%.

A figura 2b exibe ainda o perfil mecânico dos compósitos avaliados com relação à influência do tratamento químico no agente de reforço, fixando as fibras em 20% p/p. O comportamento mecânico (rigidez e resistência) de um compósito depende do tipo de reforço utilizado; suas propriedades mecânicas estão associadas diretamente à interação entre o agente de reforço e a matriz polimérica.

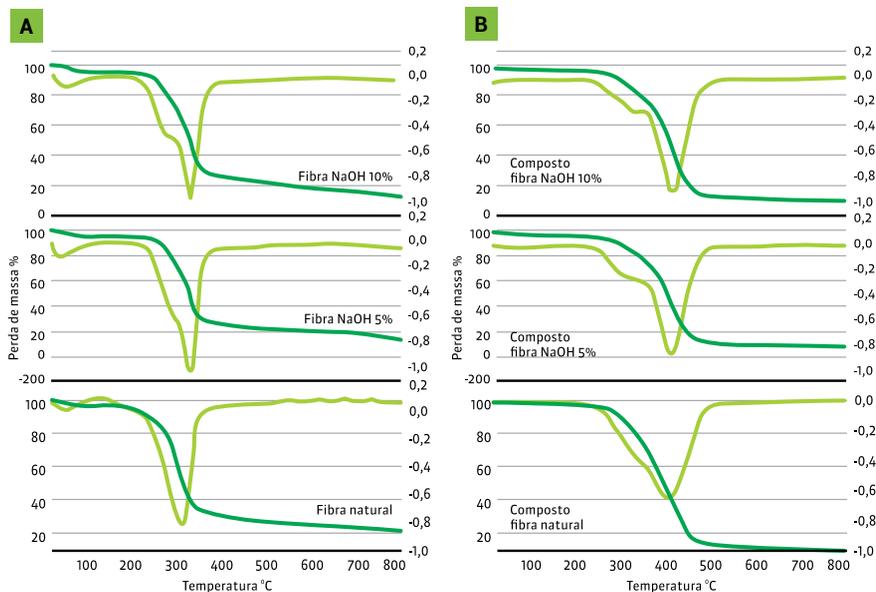
De acordo com Maheswari e colaboradores (2008), o tratamento alcalino promoveu a remoção parcial da lignina e da hemicelulose intrafibrilares. Assim, a fibra se torna menos densa e menos rígida, permitindo a maior capacidade das fibrilas de encontrarem resistência na direção da tensão aplicada e aumentando a resistência à tração, conforme verificado nas fibras que possuem menor teor de lignina e hemicelulose.

Conforme o gráfico de tensão *versus* deformação (figura 2b), ocorreu um aumento progressivo nos resultados das propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibra de bambu após o tratamento com NaOH, com uma maior significância para carga de ruptura, que aumentou em 44% após tratamento com NaOH 10%. Esses dados corroboram resultados observados no MEV e DRX, em que se constatou que para todos os compósitos estudados os melhores efeitos obtidos foram os das fibras tratadas com NaOH 10%.

O comportamento térmico das fibras de bambu e dos biocompósitos também foi investigado por análise termogravimétrica (TGA). As curvas de TGA/DTG em atmosfera de nitrogênio (N₂) para as amostras são apresentadas na figura 3. Em todas as amostras de fibras foram observadas progressivas perdas de massa à temperatura inferior a 100 °C associadas à perda de água. Apesar de previamente secas, a eliminação total da água foi dificultada pelo caráter higroscópico das fibras.

Os termogramas mostram que a decomposição dos componentes lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina) para as fibras de bambu, antes e após o tratamento químico, em atmosfera de nitrogênio (N₂), apresentaram somente um pico para a fibra natural e dois picos para fibras tratadas com 5% e 10%.

Na faixa de temperaturas entre 100-400 °C em atmosfera de N₂, observou-se perda de massa significativa (em torno de 65%), relacionada aos eventos principais do estágio de decomposição térmica dos macrocomponentes das fibras analisadas. Segundo a literatura científica, os componentes lignocelulósicos das fibras se degradam em várias etapas: hemicelulose entre 240-310 °C, celulose entre 310-360 °C e lignina em faixa de temperatura mais ampla (200-550 °C).



CRÉDITO: OS AUTORES

Figura 3. Análise termogravimétrica (TG/DTG) das fibras antes e após o tratamento químico em atmosfera de N₂ (A) e dos biocompósitos (B)

De acordo com os termogramas, observa-se ainda que o tratamento químico melhorou a estabilidade térmica dos materiais devido ao aumento nas temperaturas iniciais de degradação. Percebe-se esse aumento nas amostras tratadas com NaOH 5% e 10%, quando comparadas com as fibras no seu estado natural. Estudo semelhante realizado por Maheswari e colaboradores (2008) mostrou uma ampliação da temperatura de degradação inicial nas fibras de tamarindo após tratamento químico com NaOH 10%.

As curvas de decomposição dos biocompósitos (figura 2b) mostram dois principais eventos de degradação. Na tabela 3 são apresentados os principais eventos e as temperaturas de degradação (inicial, final e máxima), associadas às perdas de massa. O primeiro evento de decomposição térmica corresponde à degradação simultânea da pectina, da hemicelulose e da celulose.

O segundo evento térmico é característico da degradação do seguimento flexível da matriz. Em temperaturas superiores a 540 °C, ocorrem a decomposição dos produtos finais das fibras e da matriz polimérica. Pode-se observar ainda que ocorreu um leve aumento na temperatura máxima de degradação (curva da DTG) de 400 para 421 °C nos compósitos reforçados com fibras no estado natural e tratadas com NaOH 10%. Esses resultados demonstraram que as propriedades térmicas dos compósitos reforçados com fibra de bambu melhoraram consideravelmente após o tratamento químico nas fibras.

Tabela 3. Propriedades térmicas dos biocompósitos

Compósito	Eventos	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Perda de massa (%)	Temperatura máxima (°C)
Natural	1º	342,52	433,68	81,41	400,00
NaOH 5%	1º	324,05	381,15	26,12	419,00
	2º	399,78	449,28	45,93	
NaOH 10%	1º	325,29	385,47	27,83	421,33
	2º	398,24	450,49	48,09	

FONTE: OS AUTORES

Os testes de biodegradabilidade em solo simulado foram feitos tanto nas fibras como nos biocompósitos para avaliar o percentual de massa perdido com o tempo. As perdas de massa observadas na biodegradação das fibras lignocelulósicas e biocompósitos apresentaram comportamento variado, de acordo com o tratamento alcalino aplicado.

Após 30 dias, as fibras de bambu natural tratadas com solução de NaOH 5% e 10% mostraram diferentes taxas de biodegradação, com perda de massa de 8,0%, 12,0% e 16,1%, respectivamente. De forma análoga, a biodegradabilidade dos compósitos seguiu a mesma tendência dos testes realizados nas fibras isoladamente, com índice de perda de massa de 4,9%, 7,8%, 9,1% nos compósitos reforçados com fibra natural e fibras tratadas com NaOH 5% e 10%, após 120 dias de análise. Nas fibras tratadas com NaOH 10%, foi observada uma maior perda de peso, causada tanto pela biodegradação por microrganismos como também pelo aumento da área superficial, conforme observada por meio da MEV.

Conclusões

1. Por intermédio das micrografias eletrônicas de varredura realizadas nas fibras de bambu e nos biocompósitos, constatou-se mudança na superfície das fibras, caracterizada pelo aumento na rugosidade, causando um maior espaçamento interfibrilar.
2. Os testes de tração das fibras e dos biocompósitos mostraram que houve aumento dos resultados das propriedades mecânicas após o tratamento químico. A remoção dos componentes poliméricos não lineares (lignina e hemicelulose) causou maior exposição das estruturas de celulose (polímero linear), produzindo materiais com maior resistência mecânica.

3. Analogamente, as análises termogravimétricas revelaram que tanto as fibras como os biocompósitos apresentam estabilidade térmica superior quando comparados às fibras no seu estado natural. Em todas as amostras, houve um aumento nas temperaturas iniciais e máximas de degradação, justificadas pela remoção dos componentes não lignocelulósicos da fibra.

4. Os ensaios de biodegradabilidade em ambos os materiais (fibras e biocompósitos) mostraram que a biodegradação pelos microrganismos depende da composição superficial e do grau de tratamento alcalino. A fibra natural apresentou maior resistência, enquanto as fibras tratadas foram as que mais se degradaram.

5. Os resultados apresentados neste trabalho contribuem para a melhor compreensão do comportamento térmico, mecânico, reológico e de biodegradação das fibras, da resina e dos seus biocompósitos. Além disso, os resultados encorajam a busca de novos materiais com multiformes aplicações, incluindo compósitos laminares, estruturais, entre outros.

Agradecimentos

Aos órgãos de fomento CNPq, Capes e Funcap pela confiança e suporte financeiro;

À empresa Amêndoas do Brasil Ltda. pelo fornecimento do líquido da casca da castanha de caju (LCC).

Referências

- ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, v.36, p.114-122, 2013.
- BARRETO, A.C.H.; ESMERALDO, M.A.; ROSA, D.S.; FECHINE, P.B.; MAZZETTO, S.E. Cardanol biocomposites reinforced with juta fiber: microstructure, biodegradability, and mechanical properties. **Polymers Composites**, v.31, p.1928-1937, nov. 2010.
- BRÍGIDA, A.I.S.; CALADO, V.M.A.; GONÇALVES, L.R.B.; COELHO, M.A.Z. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. **Carbohydr**, v.79, p.832-838, mar. 2010.
- ELISABETE M.S.; SANCHEZ, C.S.; CAVANI, C.V.; LEAL, C.G.S. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, v.20, p.194-200, jul/set. 2010.
- ESMERALDO, M.A.; BARRETO, A.C.H.; FREITAS, J.E.B.; FECHINE, P.B.; SOMBRA, A.B.S.;



- CORRADINI, E.; MELE, G.; MAFFEZZOLI, A.; MAZZETTO, S.E. Dwarf-green coconut fibers: a versatile natural renewable raw bioresource. Treatment, morphology, and physico-chemical properties. **BioResources**, v.5, p.2478-2501, 2010.
- GEETHAMMA, V.G. Composite of short coir fibers and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fiber. **Polymer Oxford**, v.39, p.1483-1491, 1998.
- JOSEPH, S.; SREEKALA, M.S.; OOMMEN, Z.; KOSHY, P.; THOMAS, S. A comparison of the mechanical properties of phenol formaldehyde composites reinforced with banana fibers and glass fibers. **Compos. Sci. Technol**, v.62, p.1857-1868, out. 2002.
- KHARADE, A.Y.; KALE, D.D. Effect of lignin on phenolic novolak resins and moulding powder. **Eur. Polym. J**, v.34, p.201-205, fev. 1988.
- LI, Y.; MAI, Y.W.; YE, L. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. **Compos. Sci. Technol**, v.60, p.2037-2055, ago. 2000.
- MAFFEZZOLI, A.; CALÒ, E.; ZURLO, S.; MELE, G.; TARZIA, A.; STIFANI, C. Cardanol based matrix biocomposites reinforced with natural fibers. **Compos. Sci. Technol**, v.64, p.839-845, mai. 2004.
- MAHESWARI, C.U.; REDDY, K.O.; RAJULU, A.V. Tensile properties and thermal degradation parameters of tamarind fruit fibers. **J. Reinf. Plast. Compo**, v.27, p.1827-1832, nov. 2008.
- PADILHA, F.A. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus Editora Limitada, 1997. 149 p.
- SEGAL, L.; CREELY, J.; MARTIN JR., A.E; CONRAD, C.M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v.29, p.786-794, out. 1959.
- SZCZESNIAK, L.; RACHOCKI, A.; TRITT-GOC, J. Glass transition temperature and thermal decomposition of cellulose powder. **Cellulose**, v.15, p.445-4451, jun. 2008.
- WANG, B.; SAIN, M.; OKSMAN, K. Study of structural morphology of hemp fiber from the micro to the nanoscale. **Appl. Compos. Mater**, v.14, p.89-103, mar. 2007.

Materiais lignocelulósicos reforçados com lâminas de bambu

Juliana Cortez-Barbosa⁽¹⁾, Elen Ap. M. Morales⁽¹⁾,
Verônica Todesco⁽¹⁾, Anderson L. S. Michelin⁽¹⁾,
Vinicius H. Rosolem⁽¹⁾, Paulo C. R. Albuquerque⁽¹⁾ e
Francisco A. R. Lahr⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). R. Geraldo Alockmin, 519, Vila N. Sra. de Fátima – Itapeva, SP. E-mails: jucortez@itapeva.unesp.br, elen@itapeva.unesp.br, veronica.todesco@duratex.com.br, capushinefluber@gmail.com, v.rosolem@outlook.com, paulo.reichert@grad.itapeva.unesp.br

⁽²⁾ Universidade de São Paulo (USP). Av. Trabalhador São-carlense, 400, Pq. Arnold Schmidt – São Carlos, SP. E-mail: frocco@sc.usp.br

Resumo – Várias espécies de bambu apresentam elevados valores de resistência e módulo de elasticidade na tração paralela às fibras, o que representa um potencial para reforço de materiais. Desse modo, este trabalho apresenta um estudo da influência da inclusão de lâminas de bambu na resistência e rigidez na flexão estática de diferentes compósitos lignocelulósicos. Foram utilizadas as espécies de bambu *Dendrocalamus asper*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* e *Phyllostachys pubescens* Mazelex H. de Lehaie, madeira de *Pinus taeda*, painéis derivados de madeira comerciais (EGP – *Edge Glued Panel*, MDF – *Medium Density Fiberboard* e MDP – *Medium Density Particleboard*) e os adesivos EPI 1911 e PVA (Acetato de Polivinila). As lâminas de bambu foram coladas como reforço nos materiais lignocelulósicos e foram determinados os módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) na flexão estática. Em todos os casos estudados a inclusão de lâmina de bambu como reforço proporcionou incremento nos valores médios do MOR e do MOE na flexão estática. Portanto, a inclusão de lâminas de bambu como reforço de materiais lignocelulósicos mostra-se uma alternativa para o aumento da gama de utilizações para os mesmos, em especial em estruturas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: DENDROCALAMUS ASPER, GUADUA ANGUSTIFOLIA, GUADUA TAGOARA, PHYLLOSTACHYS PUBESCENS, REFORÇO, COMPÓSITOS.



Lignocellulosic materials reinforced with bamboo strips

Abstract – Diverse species of bamboo present expressive values of strength and modulus of elasticity in tensile strength parallel to the fibers, which represents a potential for its use as reinforcement in materials. Thereby, we studied the influence of the inclusion of bamboo strips in the strength and stiffness in static bending in different lignocellulosic composites. The bamboo species used were *Dendrocalamus asper*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* and *Phyllostachys pubescens* Mazelex H. de Lehaie, wood species of *Pinus taeda*, commercial wood-based boards (EGP - Edge Glued Panel, MDF - Medium Density Fiberboard and MDP - Medium Density Particleboard), and the adhesives EPI 1911 (Emulsion Polymer Isocyanate) and PVA (Polyvinyl acetate). The bamboo strips were glued as reinforcement in the lignocellulosic composites, and with this the modulus of rupture (MOR) and elasticity (MOE) in static bending were determined. In all of the studied cases, the inclusion of the bamboo strips as reinforcement provided an increasing of the average values of MOR and MOE in static bending. Thus, the insertion of bamboo strips as reinforcement in lignocellulosic composites shows an alternative to expand the range of uses for them, especially for structures.

INDEX TERMS: DENDROCALAMUS ASPER, GUADUA ANGUSTIFOLIA, GUADUA TAGOARA, PHYLLOSTACHYS PUBESCENS, REINFORCEMENT, COMPOSITES.

Introdução

Devido ao contínuo aumento do consumo dos recursos naturais e à consequente redução na oferta de madeira, materiais renováveis alternativos vêm sendo analisados para substituir os já existentes. O Brasil possui cerca de 5,1 milhões de quilômetros quadrados de floresta nativa, uma das maiores áreas remanescentes do planeta (Campanhola, 2015). A preferência por madeiras exóticas, oriundas de florestas plantadas, tem sido amplamente observada, com destaque para espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Entretanto, para alcançar maior oferta de matéria-prima para as indústrias florestais e diminuir as pressões ambientais sobre o uso de florestas nativas, é importante que outras espécies de rápido crescimento sejam estudadas (Iwakiri et al., 2004). Por outro lado, o mercado impõe a extração



de madeiras de árvores cada vez mais jovens, que, às vezes, ainda não apresentam propriedades adequadas para utilização em situações que requerem maior magnitude mecânica, como vigas e treliças para vencer grandes vãos.

O bambu, fonte renovável com alto potencial econômico, representa nesse sentido uma proposta alternativa eficaz para substituir a madeira em processos industriais ou para incrementar as propriedades mecânicas nos produtos fabricados com madeiras juvenis, de baixa densidade.

A necessidade de desenvolvimento de maquinário apropriado para o beneficiamento do bambu e a falta de normalização para a avaliação de seu comportamento físico-mecânico são alguns dos fatores que impedem o progresso nas pesquisas sobre as características desse material. A comparação entre os estudos é inviabilizada, na maioria das vezes, devido à necessidade de se realizar adaptações a partir dos documentos normativos específicos para a madeira, por exemplo.

No Brasil, pelo menos 73% do consumo dos painéis de madeira reconstituída provêm da indústria de móveis (comercialização direta), sendo uma parcela não desprezível comercializada por revendedores (18%), que atendem tanto a pequenos fabricantes de móveis quanto à indústria da construção civil (Biazus et al., 2010).

Em países desenvolvidos, o setor de construção civil absorve 40% a 60% de toda a produção de painéis de madeira, especialmente como elemento de vedação em sistemas construtivos em madeira, como o *woodframe* (Kai & Xuhe, 2006). O aumento na utilização dessa técnica provoca um crescimento no uso de novos painéis estruturais no setor construtivo em diversos países. Esse sistema – composto de paredes com ossatura de madeira maciça e vedação em painéis derivados de madeira – possui elevado desempenho térmico e acústico, ocupa menos espaço interior, devido às suas paredes mais estreitas e leves, e causa menor impacto ambiental. Por tudo isso, vem prosperando e apresenta um futuro promissor (De Araujo et al., 2014).

No Japão, 65% das paredes contam com algum tipo de painel derivado de madeira; nos Estados Unidos, 47%; na Alemanha, 41%; no sul da Ásia, 30%; e apenas 3% na China (Kai & Xuhe, 2006). Estudos mercadológicos comprovam que há uma forte tendência na China à adoção dessa tipologia construtiva, o que representa um potencial crescente de materiais lignocelulósicos priorizando o uso do bambu que poderiam ser aplicados nessas construções inovadoras, como painéis para parede, forro, piso, divisórias, entre outros.

Os estudos de novos produtos e processos dentro do Grupo de Pesquisa Ligno (Desenvolvimento de Produtos Lignocelulósicos/CNPq), do Campus Unesp de Itapeva, vêm sendo direcionados especialmente ao desenvolvimento



de diferentes compósitos reforçados com lâminas de bambu. Os compósitos são materiais constituídos por dois ou mais elementos de diferentes formas e composição química que podem ser combinados sem que sejam solúveis um no outro. A combinação desses materiais resulta em melhor qualidade do que quando usados individualmente, favorecendo sua aplicabilidade (Razera, 2006).

Neste capítulo, apresenta-se, a partir dos resultados obtidos no desenvolvimento de novos compósitos lignocelulósicos, a caracterização das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Em uma tabela comparativa dos estudos científicos, demonstra-se o potencial no incremento das propriedades mecânicas (MOR e MOE) com o uso de lâminas de bambu para diversos fins industriais e não industriais. Discorre-se ainda sobre a aplicação desses novos produtos, assim como sobre as alternativas para o melhor aproveitamento de espécies subutilizadas de madeira devido à baixa densidade e de madeiras juvenis. São analisadas também as possibilidades de aproveitamento dos subprodutos de materiais lignocelulósicos visando obter maior rendimento da matéria-prima para reduzir a pressão sobre espécies arbóreas em extinção e/ou controladas. Além disso, o desenvolvimento de novos produtos representa nova opção no avanço da tecnologia nacional na área industrial madeireira, auxiliando na valorização de modo geral dos recursos naturais de florestas plantadas oriundas de manejo sustentável.

Material e métodos

MATERIAL - Os materiais utilizados neste trabalho foram obtidos de locais variados. A madeira *Grevillea* é oriunda de poda urbana e foi coletada no município de Itapeva, no Estado de São Paulo. As pranchas de *Pinus* e os painéis *Edge Glued Panel* (EGP) foram doados pelas indústrias madeireiras da região e os painéis *Medium Density Particleboard* (MDP) de *Eucalyptus* sp. e *Medium Density Fiberboard* (MDF) foram adquiridos no comércio de Itapeva. Em relação aos bambus, as espécies *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* foram extraídas de propriedades rurais particulares nas proximidades de Itapeva (Manduri e Ribeirão Branco). Já a espécie *Guadua tagoara* foi coletada no Parque de Intervalos (município de Ribeirão Grande, SP) e a espécie *Dendrocalamus asper* foi doada pela Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) de Tatuí (SP).

O painel MDP utilizado foi produzido com 100% de eucalipto, composto por três camadas, sendo duas externas com partículas de granulometria mais

fina e uma camada interna composta de partículas de maiores dimensões.

A partir dos materiais coletados foram confeccionados os corpos de prova para a caracterização física (densidade básica e retratibilidade) e mecânica (flexão estática).

Durante o processo de colagem foram utilizados diferentes tipos de adesivos. Para a adesão entre as peças de MDF e os reforços de bambu, foi usado o EPI 1911 (*Emulsion Polymer Isocyanate*) com catalisador 1999 a 15% de massa. Para a colagem do reforço de bambu no MDP, EGP e *Pinus taeda* foi utilizado o adesivo PVA (Acetato de Polivinila).

MÉTODOS

Processamento e usinagem do bambu - Para a obtenção das lâminas de reforço foram realizados os seguintes passos:

- Corte transversal com uma serra circular destopadeira;
- Corte longitudinal com uma serra circular esquadrejadeira adaptada ao formato peculiar do bambu;
- Retirada das imperfeições encontradas na região do nó com uma serra fita vertical;
- Uniformização da superfície com uma laminadora construída especialmente para a usinagem de bambu, composta de duas fresas para obter espessura mínima de 1,5mm.

Colagem dos reforços de bambu - Os reforços de bambu foram realizados tanto na superfície superior quanto na inferior de todos os materiais. Para tanto foram utilizados os dois tipos de adesivos anteriormente mencionados.

As lâminas foram coladas na madeira de *Pinus* por meio de prensagem com uso de grampos de marceneiro (sargento) durante 24 horas, devido às dimensões dos corpos de prova.

Por sua vez, os reforços nos derivados de madeira MDP e MDF foram realizados com o processo de prensagem dos bambus nas superfícies dos painéis utilizando prensa automática a frio com pressão de 10kgf/cm² (10 MPa) e gramatura do adesivo de aproximadamente 200g/m².

Na colagem das peças de MDF com o reforço de bambu (*D. asper*) foi usado o adesivo EPI 1911 com catalisador 1999 a 15% de massa.



Ensaio físico - Os ensaios das propriedades físicas foram realizados somente para alguns dos materiais e têm como origem distintas pesquisas aqui compiladas: *Grevillea robusta*, MDP com reforço de *Dendrocalamus asper*, EGP e *Pinus taeda*.

Nesses ensaios, foram obtidos os valores da densidade e reprodutibilidade utilizando-se as prescrições normativas da NBR 7190/1997. Somente as propriedades físicas do MDP foram obtidas com base no documento normativo específico para chapas de partículas, a NBR 14.810/2006. As propriedades físicas dos demais materiais e compósitos abordados neste trabalho foram obtidas diretamente de referências bibliográficas pertinentes, por serem já amplamente conhecidos.

A Equação (1) foi usada para calcular o fator anisotrópico que é definido pela razão da contração tangencial pela contração radial.

$$F_{\alpha} = \frac{C_t}{C_r} \quad (1), \quad \text{onde: } F_{\alpha} = \text{Fator anisotrópico;} \\ C_t = \text{contração tangencial;} \\ C_r = \text{contração radial.}$$

Ensaio mecânico - Os ensaios para determinação das propriedades mecânicas na flexão estática foram realizados em conformidade com a EN 310 para os seguintes compósitos: *Grevillea robusta* com *Guadua tagoara*, MDF com *Dendrocalamus asper* e MDF com *Phyllostachys pubescens* (figura 1). Os ensaios de EGP e *Pinus* reforçado obedeceram as recomendações do documento normativo para madeiras maciças NBR 7190/97. Para o ensaio de MDP com reforço de *Dendrocalamus asper* foi utilizado o documento normativo NBR 14.810/2006.

Os ensaios para caracterização mecânica dos materiais (espécies de madeiras, espécies de bambus e compósitos) foram realizados na Máquina Universal de Ensaio (EMIC DL capacidade 300 kN). Foram utilizados 12 corpos de prova para cada um dos materiais distintos reforçados com diferentes espécies de bambu, exceto o MDP reforçado com *Dendrocalamus asper*, que teve o número de corpos de prova reduzido pela falta de bambu disponível com idade de três a cinco anos. Para os ensaios de *Grevillea robusta* foram utilizados apenas seis corpos de prova.





(A) corpo de prova de *Grevillea robusta* e *Guadua tagoara*



CRÉDITOS: JUIANA CORTEZ BARBOSA

(B) Edged Glued Panel (EGP) com reforço de *Guadua angustifolia*



(C) corpos de prova ensaiados de *Medium Density Particleboard* + *Dendrocalamus asper*



(D) ensaio de resistência à flexão de corpo de prova de *Pinus taeda* com reforço de *Guadua angustifolia*

Figura 1. Materiais distintos reforçados com diferentes espécies de bambu

Resultados e discussão

Na tabela 1 são apresentados os valores médios de densidade básica e de retratibilidade para os materiais analisados. Vale ressaltar que muitas propriedades físicas de alguns materiais não foram coletadas, pois neste capítulo compilaram-se dados de diversas pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa Ligno nas quais as abordagens principais guardavam pequenas diferenças entre si.

Tabela 1. Valores médios e respectivos desvios padrões e coeficientes de variações das propriedades físicas

Material	Densidade (Kg/m ³)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Coefficiente anisotrópico (%)
<i>Grevilea robusta</i>	538,12 ±17,20	0,39±0,08	3,51±0,12	8,01±0,84	2,28
C.V. (%)	3,33	20,94	3,35	10,59	–
<i>Pinus taeda</i>	465,14±23,87	–	–	–	–
C.V. (%)	5,13	–	–	–	–
EGP	569,58±49,68	–	–	–	–
C.V. (%)	8,72	–	–	–	–
<i>Guadua angustifolia</i>	645,89±17,41	0,33±0,16	8,09±0,95	6,12±0,41	0,77
C.V. (%)	2,70	48,48	11,74	6,69	–
<i>Dendrocalamus asper</i>	772,73±6,92	0,38 ±0,10	4,95±1,36	5,00±0,98	1,06
C.V. (%)	0,95	23,31	27,47	19,60	–
MDP	619,01±37,02	-	-	-	-
C.V. (%)	5,97	-	-	-	-
MDF	500 a 800*	-	-	-	-
C.V. (%)	-	-	-	-	-

* (Iwakiri, 2005), (Torquato et al., 2009) e (Maloney, 1996)

Nota-se que os coeficientes anisotrópicos encontrados nas espécies de bambus utilizadas são muito próximos a 1, o que habilita esse material para o uso em produtos que exigem considerável estabilidade dimensional como, por exemplo, revestimento de pisos ou tampos de mesa. O uso de materiais com esse fator anisotrópico, observado nessas espécies de bambus, pode reduzir a possibilidade de empenamento e o aparecimento de frestas.

No caso da madeira *Grevillea robusta*, o coeficiente apresentado está acima de dois e, portanto, a associação com lâminas de bambu poderia elevar sua estabilidade dimensional além da dureza superficial, especialmente com a sobreposição cruzada em ângulo de 90° do bambu sobre a madeira. Sua densidade básica, próxima a 515 Kg/m³ (Pereira, 1998), é limítrofe, e por isso não é um material indicado para aplicação como piso. No entanto, quando associada ao bambu, essa madeira pode ser utilizada para esse fim. Dessa forma, o bambu acaba por agregar valor a essa madeira de elevado crescimento e, de maneira geral, pouco valorizada.

Verificou-se, ainda, que as propriedades de retração para a *Grevillea robusta* nas direções axial, radial e tangencial são próximas às apresentadas por Pereira (1998): 0,2%, 3,4% e 7,9%, respectivamente (tabela 1).

Os valores de resistência e os módulos de elasticidade solicitados à flexão nos materiais ensaiados, com e sem reforço de lâminas de diferentes espécies de bambus, são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Valores médios e respectivos desvios padrões e coeficientes de variações dos ensaios de flexão estática perpendicular com e sem reforço

Compósito	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	sem reforço	com reforço	sem reforço	com reforço
<i>G.robusta</i> + <i>G.tagoara</i>	63,78 ± 8,22	82,59 ± 6,56	6883,24 ± 1039	9664,02 ± 1076,87
C.V. (%)	12,88	7,94	15,09	11,13
MDF + <i>D.asper</i>	29,72 ± 1,69	46,81 ± 1,67	2923,43 ± 108,21	6722,50 ± 1165,79
C.V. (%)	5,61	3,56	3,87	17,34
MDF + <i>P.pubescens</i>	29,72 ± 1,69	44,08 ± 6,0	2923,43 ± 108,21	4578,11 ± 390,29
C.V. (%)	5,61	13,61	3,87	8,52
MDP + <i>D.asper</i>	16,23 ± 1,60	38,46 ± 4,69	-	-
C.V. (%)	9,87	12,21	-	-
EGP + <i>G.angustifolia</i>	51,04 ± 4,21	72,99 ± 10,80	6662,52 ± 852,16	9927,16 ± 914,54
C.V. (%)	8,24	14,74	12,79	9,21
<i>P.taeda</i> + <i>G.angustifolia</i>	39,97 ± 4,12	52,77 ± 4,72	5625,23 ± 578,23	7862,48 ± 1320,43
C.V. (%)	10,30	8,94	10,27	16,79
<i>P.taeda</i> + <i>D.asper</i>	39,97 ± 4,12	56,54 ± 8,22	5625,23 ± 578,23	8421,67 ± 1804,06
C.V. (%)	10,30	14,54	10,27	21,42



Como mostra a tabela 3, houve um incremento na resistência mecânica em todos os casos analisados na compilação de trabalhos a respeito do reforço com lâminas de bambu.

Tabela 3. Incremento na resistência à flexão com reforço de lâminas de bambu

Material reforçado	Reforço (espécie bambu)	Material de reforço (%)*	Incremento MOR (%)	Incremento MOE (%)
<i>Grevillea robusta</i>	<i>Guadua tigoara</i>	15	29,49	40,39
MDF	<i>Dendrocalamus asper</i>	20	57,50	129,95
MDF	<i>Phyllostachys pubescens</i>	20	48,32	56,60
MDP	<i>Dendrocalamus asper</i>	16	136,97	-
EGP	<i>Guadua angustifolia</i>	18	43,01	49,00
<i>P.taeda</i>	<i>Guadua angustifolia</i>	18	32,02	39,77
<i>P.taeda</i>	<i>Dendrocalamus asper</i>	18	41,46	49,71

* Valor aproximado devido à dificuldade de padronização da espessura das lâminas de bambu. A porcentagem é relativa à espessura total do corpo de prova.

Na associação da madeira *Grevillea robusta* com o bambu *Guadua tigoara*, observou-se que os valores encontrados evidenciam o incremento da resistência e o módulo de elasticidade, respectivamente de 29,49% e de 40,40%.

Em relação ao MDF, o reforço com lâminas de bambu *D. asper* proporcionou um aumento na resistência mecânica à flexão estática de 57,55%. No caso do bambu *P. pubescens*, o aumento foi de 48,34%. Quanto aos módulos de elasticidade, o bambu *D. asper* proporcionou um incremento de 129,95% e o bambu *P. pubescens*, de 56,60%.

O ensaio de flexão do MDP com revestimento de lâminas de bambu *Dendrocalamus asper* de 38,46 MPa (MOE) apresentou o resultado esperado, uma vez que o valor obtido representa um aumento de aproximadamente 137% da resistência à flexão.

Já quando 18% da espessura dos corpos de prova de EGP e madeira maciça (Pinus) foram substituídos por lâminas de bambu, no módulo de resistência na flexão, obteve-se incremento de 43% e uma média de 36%, respectivamente. Essa média foi obtida em relação aos valores de incremento de Pinus com reforço das espécies *D. asper* e *G. angustifolia*. As propriedades de resistência e rigidez na flexão estática foram superiores em corpos de prova de madeira maciça com reforço de bambu *D. asper* em relação ao *G. angustifolia*.

Entretanto, todos os corpos de prova dos materiais reforçados apresentaram incrementos significativos na resistência e na rigidez para essa solicitação mecânica, em ambas as espécies estudadas.

Conclusões

1. A utilização de reforço com lâminas de bambu proporciona considerável incremento na resistência mecânica em materiais lignocelulósicos, especialmente em madeira maciça ou em derivados de madeira que apresentem baixa resistência mecânica ou muitos defeitos, como nós.
2. O incremento significativo em sua resistência e módulo de elasticidade na flexão, proporcionado pela associação de lâminas de bambu como reforço em materiais lignocelulósicos, indica a possibilidade de ampliação da viabilidade de uso estrutural de madeiras de baixa densidade, madeiras juvenis e de terceira linha. Justificam-se assim o estudo e a possibilidade de uso de reforço de bambu em componentes e elementos construtivos e de mobiliário que sofrem maior esforço mecânico, como portas, tampos de bancadas e mesas.
3. Os resultados mostram a possibilidade de redução de seções nos componentes de mobiliário e de melhora nas propriedades mecânicas dos derivados de madeira não estruturais e nas peças com defeitos encontrados na madeira de *Pinus* no Brasil.
4. Em todos os ensaios, a grande maioria dos corpos de prova rompeu no material reforçado ou na linha de cola, o que indica que há um limite de quantidade de reforço a ser adicionado para cada material. Assim, devem-se ampliar os estudos para minimizar a quantidade de bambu a ser utilizado no reforço, assim como reduzir o tempo de prensagem e temperatura para otimizar ao máximo o processo ou quantidade de adesivo a ser aplicado, pois é a etapa que representa o maior custo ao produto.
5. Além de aumentar a resistência quando aplicado à superfície da peça, o reforço é uma alternativa para outro tipo de revestimento do material, especialmente devido à baixa retratibilidade encontrada, podendo ser usado como acabamento superficial, por sua beleza estética.

Agradecimentos

À Pró-Reitoria de Pesquisa da Unesp e ao CNPq, pelo apoio financeiro;
A Juliano Rodrigo de Brito e Alex Costa Siqueira, assistentes técnicos dos laboratórios da Unesp, pela importante colaboração.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.810: **Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2006.
- BIAZUS, A.; BARROS DA HORA, A.; PEREIRA LEITE, B.G. **Panorama de mercado – Painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.32, p.49-90, 2010. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em 1 abr. 2011.
- CAMPANHOLA, C. A pesquisa florestal brasileira. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/florestal/artigos/a_pesquisa_florestal_brasileira.html>. Acesso em 9 abr. 2015.
- DE ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N.; GAVA, M.; MORALES, E. A. M.; CORTEZ-BARBOSA, J.; SAVI, A. F.; VASCONCELOS, J. S. Diagnosis of wood waste generated by wooden-houses manufacturers in the Brazilian state of Parana. **Advanced Materials Research** (On-line), v.1077, p.265-269, 2014.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.
- IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. de C.; DEL MENEZZI, C.H.S.; PUEHRINGHER, C.A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex. R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.6, p.883-887, nov-dez, 2004.
- KAI, Z.; XUHE, C. **Potential of bamboo-based panels serving as prefabricated construction materials**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2006.
- MALONEY, T.M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, v.46, n.2, p.19-26, fev., 1996.
- MOIZÉS, F.A. Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de *Design* em Bauru. São Paulo. 2007. 113p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Desenho Industrial, Departamento de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.
- NOGUEIRA, C.L. Painel de bambu laminado colado estrutural. v.1. 2008. 94p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, ESALQ – Piracicaba, 2008.
- PEREIRA, J.C.D. Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.37, p.81-88, jul./dez, 1998.
- RAZERA, I.A.T. Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica. 2006. 189f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- TORQUATO, L.P.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de; MATOS, J.L.M. de. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis de fibra de média densidade (MDF) produzidos pelas indústrias brasileiras. 2008. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.





Nanofibrilas obtidas de polpas celulósicas de bambu: propriedades e aplicação como reforço em polímeros

*Mario Guimarães Junior⁽¹⁾, Rafael Farinassi Mendes⁽²⁾,
Lucas Rezende Gomide⁽³⁾, Lourival Marin Mendes⁽³⁾,
José Roberto Soares Scolforo⁽³⁾ e Gustavo Henrique Denzin Tonoli⁽³⁾*

⁽¹⁾ Departamento de Eletromecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet-MG, Campus Araxá). Av. Ministro Olavo Drummond, 25, Bairro São Geraldo, Araxá – MG, Brasil. CEP 38180-510. E-mail: mgjunior@araxa.cefetmg.br

⁽²⁾ Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA-MG). Cx. P. 3037, Lavras-MG, Brasil. CEP 37200-000. E-mail: rafael.mendes@deg.ufla.br

⁽³⁾ Departamento de Ciências Florestais da UFLA-MG. Cx. P. 3037, Lavras-MG, Brasil. CEP 37200-000. E-mails: lucasgomide@dcf.ufla.br; lourival@dcf.ufla.br; scolforo@dcf.ufla.br; gustavotonoli@yahoo.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho é mostrar como as nanofibrilas de materiais lignocelulósicos podem servir de alternativa para o desenvolvimento de novos produtos e ser utilizadas em diferentes aplicações. As nanofibrilas foram obtidas da polpa celulósica de bambu por meio de pré-tratamentos químicos e do desfibrilamento mecânico. A influência dos processos industriais e dos pré-tratamentos químicos na polpa sobre a sua composição química também foi avaliada. As propriedades morfológicas e estruturais das suspensões de nanofibrilas foram analisadas no que diz respeito ao número de passagens pelo desfibrilador. Os pré-tratamentos químicos seguidos de desfibrilação mecânica foram efetivos na produção de nanofibrilas com diâmetros médios de 10 ± 6 nm após 30 passagens pelo desfibrilador. Os pré-tratamentos diminuíram o teor de constituintes não celulósicos do material fibroso inicial. O aumento do número de passagens da polpa tratada pelo desfibrilador resultou na diminuição da cristalinidade das fibras. Compósitos baseados em álcool polivinílico (PLA) + amido (AMM) e reforçados com nanofibrilas de bambu apresentaram maiores valores médios de resistência mecânica e deformação do que os filmes poliméricos sem nanofibras. Esta pesquisa contribui, portanto, com informações para o desenvolvimento de filmes poliméricos mais resistentes. Esses filmes poliméricos, quando reforçados com nanofibrilas de bambu, podem ser usados em diferentes áreas do setor agrícola e da indústria de embalagens plásticas.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: LIGNOCELULÓSICOS, POLPA DE BAMBU, DESFIBRILAÇÃO MECÂNICA, POLPA DE CELULOSE.



Nanofibrils obtained from cellulose pulps of bamboo: properties and application as reinforcement in polymers

Abstract – *The aim of this work is to show how the nanofibrils from lignocellulosic can be an alternative for the development of new products for different applications. In the present work the nanofibrils were obtained from bamboo pulps using different chemical pre-treatments and followed by mechanical defibrillation. The influence of pre-treatments on the chemical composition of the resulting fibers was evaluated. We also evaluated the properties of the micro/nanofibrils after different number of passages through the defibrillator. The chemical pre-treatments and defibrillation were effective in producing nanofibrils with average diameter of 10 ± 6 nm after 30 passages. The pre-treatments decreased the content of non-cellulosic material in the fibers. The increase in the number of passages through the defibrillator decreased the crystallinity index of the fibers. Composites based on polyvinyl alcohol (PVA) + starch (AMM) and reinforced with bamboo nanofibrils presented higher mechanical strength and deformation than unreinforced films. This research, thus, contributes to the development of more resistant polymeric films. These polymeric films, when reinforced with bamboo nanofibrils, can be used in different areas of the agricultural and plastic packaging sectors.*

INDEX TERMS: LIGNOCELLULOSICS, BAMBOO PULP, MECHANICAL DEFIBRILLATION, CELLULOSE PULP.

Introdução

Até a metade do século 19, a maioria dos produtos industriais era fabricada a partir de recursos oriundos de fontes biológicas ou naturais. Dessa época até os anos 70 do século passado, o petróleo foi a fonte principal de energia, com enorme produção de materiais derivados do óleo. Nos anos 70, os produtos derivados do petróleo foram gradativamente substituídos por materiais procedentes de fontes naturais.

O desenvolvimento de materiais oriundos de fontes renováveis aumentou a perspectiva de que os recursos de origem natural voltarão a contribuir decisivamente na fabricação de produtos industriais. Nesse sentido, a celulose é uma matéria-prima atraente devido à sua fácil obtenção, à sua abundância e ao seu baixo custo. O Brasil foi responsável por pouco mais de 10% da produção mundial de celulose em 2012 (ABAF, 2013). Em 2013, manteve



a quarta posição ocupada em 2012, produzindo cerca de 15,1 milhões de toneladas (IBÁ, 2014).

A celulose é o mais abundante, renovável e biodegradável polímero natural existente na natureza. Os novos materiais baseados em celulose de dimensões nanométricas têm se tornado atraentes – e de grande potencial – às mais diversas áreas. Dois diferentes tipos de materiais de dimensões nanométricas podem ser isolados a partir de uma fonte de celulose: as nanofibrilas de celulose e os nanocristais de celulose.

As nanofibrilas de celulose são unidades fibrilares resultantes da combinação linear de macromoléculas de celulose. Possuem componentes de celulose tanto amorfos quanto cristalinos: ambos têm a capacidade de formar redes emaranhadas (Moran-Mirabal & Cranston, 2015).

Já os nanocristais de celulose se apresentam como uma estrutura cristalina perfeita e com módulo de Young elevado se comparado ao módulo teórico da celulose nativa (Eichhorn et al., 2010). De acordo com Chen et al. (2011), os diâmetros da nanofibrilas de celulose podem variar entre 2 e 20nm, conforme a origem e o processo de extração (dos quais dependem também seu comprimento e forma).

A nanofibrila de celulose é bastante atrativa. Isso se deve às suas características únicas, como a alta relação de área de superfície por volume (área de superfície elevada), as propriedades mecânicas extremamente fortes, o baixo coeficiente de expansão térmica e a vasta gama de razão de aspecto (Eichhorn et al., 2010). Em tempo: essas nanofibrilas recebem também outras nomenclaturas na literatura, como microfibrilas (Aulin et al., 2008), nanofibras (Bhatnagar & Sain, 2005), nanocelulose (Panthapulakkal & Sain, 2012), celulose microfibrilada (Stenstad et al., 2008) e, mais recentemente, cellulose fillaments (Aguirre et al., 2016). Essa classe de materiais que apresentam comprimentos micrométricos e larguras nanométricas tem mostrado um grande potencial em diversas aplicações, especialmente como reforço em matrizes poliméricas (Orts et al., 2005). Além disso, esses materiais podem ser usados em fármacos (Villanova et al., 2011), embalagens e filmes (Syverud et al., 2011).

Embora possam ser extraídas de algas, tunicados (espécie de molusco) e celulose bacteriana, a principal fonte de nanofibrilas de celulose é a parede celular das plantas. Em geral, são produzidas a partir de várias fontes vegetais, como a polpa da madeira (Tonoli et al., 2012), o bagaço de cana de açúcar (Hassan et al., 2012) e a polpa de bambu (Phong et al., 2013, Guimarães Jr. et al., 2015a).

Entre as diversas formas de obtenção de nanofibrilas de celulose, destacam-se o homogeneizador de alta pressão (Stelte & Sanadi, 2009), o microfluidizador (Siqueira et al., 2009), o desfibrilador ou grinder (Guimarães Jr. et



al., 2015a) e o moinho de bolas (Teramoto et al., 2008). Além deles, é possível citar também a combinação de processos, entre os quais o refino (Stelte & Sanadi, 2009) e o ultrassonicador de alta intensidade (Chen et al., 2011).

Uma das etapas iniciais mais importantes para ter sucesso na individualização das fibras celulósicas, antes da obtenção das nanofibrilas, é a remoção da lignina, dos extrativos e das hemiceluloses da parede celular dos materiais lignocelulósicos. Para melhorar o rendimento e a qualidade das nanofibrilas, vários processos com tratamento alcalino, mercerização, polpação, oxidação e branqueamento têm sido utilizados (Phong et al., 2013; Guimarães Jr. et al., 2015a).

Os colmos de bambu são constituídos de fibras de celulose longas e alinhadas imersas em uma matriz de lignina e hemiceluloses, contendo também vasos e feixes vasculares com comprimentos que variam, em média, de 1,04mm a 2,7mm (Grosser & Liese, 1971). Anatomicamente, o bambu é bastante diferente da madeira, apresentando valores expressivos de fração-parede e espessura da parede celular (Guimarães Jr. et al., 2010), oito ou mais camadas na formação de sua parede secundária, além de apresentar 40% de fibras em sua estrutura vegetal (Liese, 1985). A inexistência de elementos anatômicos dispostos na direção radial e também de raios, que nas madeiras têm a função de realizar o transporte lateral de fluidos, são outros fatores que tornam essa gramínea diferente das madeiras (Guimarães Jr. et al., 2010).

Este trabalho visa apresentar a atuação dos pré-tratamentos da polpa na obtenção das nanofibrilas celulósicas de bambu, investigando a influência do número de passagens das suspensões através do desfibrilador. O efeito da utilização dessas nanofibrilas como agente de reforço no desempenho de compósitos poliméricos biodegradáveis (baseados em álcool polivinílico + amido) também foi avaliado.

Material e métodos

MATERIAIS - Polpa celulósica comercial de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad.), com 2 anos de idade, refinada e não branqueada, foi obtida na empresa de Celulose e Papel de Pernambuco S/A (Cepasa), localizada na cidade de Jaboatão dos Guararapes. As polpas foram produzidas pelo processo soda-antraquinona, com cerca de 18% de NaOH e 0,03% de antraquinona (C₁₄H₈O₂) por massa de sólido contido na solução, com rendimento estimado em 46% e pH entre 12% e 13%. Após o cozimento em digestor contínuo tipo Pândia, sob pressão de 6-7 bar, a uma temperatura média de 170°C, durante 45 minutos, as amostras foram refinadas em moinho de disco apresentando um Schopper

Riegler (SR°) entre 25-30, após retenção em malha de 100 mesh (0,149mm de abertura da malha da peneira). Devido à influência (para cima) do conteúdo parenquimatoso ou “finos do bambu”, foi necessário o ajuste do SR° das amostras após o refino. A blenda utilizada foi composta pelo amido de mandioca modificado Amidomax 5500 (Cargill) – com teor de amilose de 14,98%, viscosidade máxima de 357,8±1,11 Rapid Visco Unit (RVU), 0,10g/100g de lipídeos e 92,34% de carboidratos – e pelo polímero álcool polivinílico (Sigma-Aldrich) – com massa molecular de 130.000g/mol e 99% hidrolisado.

PRÉ-TRATAMENTOS E CARACTERIZAÇÃO DA POLPA CELULÓSICA - Antes da obtenção das nanofibrilas de celulose, a amostra refinada foi submetida ao tratamento alcalino e ao branqueamento; ambos foram aplicados duas vezes. Esses tratamentos foram necessários para promover a eliminação de grupos indesejáveis: os extrativos, a lignina e as substâncias cromóforas, que dificultam a desestruturação da parede celular das amostras durante a produção de nanofibrilas. Com esse procedimento, o rendimento e a purificação também são maximizados, uma vez que há a elevação dos teores de celulose. O método está de acordo com a maioria dos trabalhos encontrados na literatura. Como exemplo, podem-se citar Phong et al. 2013 e Okahisa et al. 2011. Para o tratamento alcalino, utilizou-se, com algumas modificações, a metodologia descrita por Corradini et al. (2006). Para o branqueamento, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Pereira et al. (2010), mantendo-se o pH entre 10 e 11 por meio de solução tampão – o objetivo foi evitar a reversão de alvura. Para o cálculo do rendimento, as amostras foram secas em estufa a 60°C por 24 horas.

A preparação das amostras para análise química seguiu os critérios descritos pela Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) em T264 cm-99 e T257 cm-99. O percentual de holocelulose (celulose + hemiceluloses) foi determinado como descrito na T 9 m-54. Os teores de alfa-celulose e lignina (insolúvel em ácidos) foram estimados conforme os métodos T203 cm-99 e T222 cm-88, respectivamente. O conteúdo de hemicelulose foi calculado a partir da diferença entre os valores de holocelulose e alfa-celulose e os teores de cinza e extrativo foram determinados de acordo com a T211 cm-93 e a T204 cm-97, nessa ordem, substituindo o benzeno por tolueno nos ensaios de extrativos. O procedimento para a solubilidade em etanol-toluol ocorreu na proporção de 1:2 (v/v), durante 6 horas em etanol/toluol e mais 4 horas em etanol. Os ensaios foram realizados em triplicata.

OBTENÇÃO DE NANOFIBRILAS DE CELULOSE - A partir da caracterização das fibras pré-tratadas, foi realizada a seleção das fibras com melhor potencial



para desfibrilação e obtenção de nanofibrilas de celulose. Foi utilizada a desfibrilação mecânica da parede celular utilizando o desfibrilador Super Masscolloider Masuko Sangyo MKCA6-3 (Japão), operando a 1500rpm, seguido de sonicação a 450 W. Inicialmente foram preparadas suspensões de fibras com a concentração de 1% (m/v) em água, permanecendo em repouso por 48 horas para hidratação e inchamento da parede celular. Foi realizado o ajuste da distância entre os discos do desfibrilador para 100 μ m (Nakagaito & Yano, 2004; Guimarães Jr. et al. 2015a; Guimarães Jr. et al., 2015b). Além disso, esse desfibrilador foi alimentado pelas suspensões de fibras por diversas vezes até o surgimento de um gel; este começou a se formar após 15 passagens pela máquina. O número de passagens adotadas para esse trabalho foi 5, 10, 15, 20, 25 e 30, mantendo-se a corrente elétrica consumida em 6 A.

Na realização da sonicação das suspensões (após o tratamento mecânico de desfibrilação), o gel foi submetido à cavitação por 30 minutos a 25% de amplitude – utilizou-se ponteira de 13mm de diâmetro e foi aplicado em torno de 840J/mL de energia em cada amostra. O volume de solução para amostra – sonicada sob refrigeração – foi de 240mL.

CARACTERIZAÇÃO DAS NANOFIBRILAS DE CELULOSE - Os índices de cristalinidade das nanofibrilas de celulose foram estimados a partir da difração de raios X, utilizando um Difratorômetro Shimadzu LabX XRD-6000 operando à temperatura ambiente, com intervalo de 2 θ de 5 a 40°, velocidade de varredura de 2°/min e resolução de 0,02°. A radiação, gerada a partir de 40 Kv de tensão e corrente incidente de 30 mA, foi de Cu K (1,5406 Å).

Para efeito de comparação, fibras de celulose oriundas de polpas não desfibriladas também foram analisadas. Os índices de cristalinidade (I_c) foram estimados a partir das alturas do pico no plano [002] (I_{002}) e da intensidade mínima entre os picos nos planos [002] e [101] (I_{am}), utilizando o método de Segal et al. (1959).

Para avaliar a morfologia das amostras de nanofibrilas de celulose conforme os procedimentos descritos em Guimarães Jr. et al. (2015b), as medidas de microscopia de força atômica (MFA) foram realizadas em um equipamento Agilent Technologies 5500 N9410S. Aproximadamente 100 nanofibrilas/ feixe de nanofibrilas foram escolhidas aleatoriamente para cada condição e duas alturas foram realizadas para determinar seu diâmetro médio.

A transmissão de luz através das nanossuspensões de nanofibrilas a uma concentração de 0,17% (m/v) foram mensuradas em espectrofotômetro Shimadzu UV-vis 1601, duplo feixe com lâmpada de tungstênio, precisão de 0,5nm e banda espectral de 2nm, conforme encontrado na literatura (Gui-

marães Jr. et al., 2015a). Essa técnica avaliou a transparência do gel resultante em função do número de passagens de cada suspensão de nanofibrilas pelo desfibrilador mecânico. A varredura ocorreu na faixa de 400 a 800nm. A área de percurso livre da cubeta de quartzo é de 10mm. Água destilada foi utilizada como amostra de comparação. O equipamento foi programado para apresentar o valor da transmitância durante a passagem da luz pelas suspensões.

A viscosidade intrínseca $[\eta]$ das suspensões foi determinada segundo Guimarães Jr. et al., 2015a, empregando-se o método TAPPI (T230 om-99, 1999). Pela determinação das viscosidades relativas, específicas e reduzidas de cada suspensão, realizada por meio de um viscosímetro capilar Cannon-Fenske transparente n° 150, foram determinados os valores das respectivas viscosidades intrínsecas, em mL/g, utilizando extrapolação gráfica da relação da viscosidade reduzida com a concentração de cada suspensão.

USO DAS NANOFIBRILAS DE BAMBU PARA REFORÇO DE FILMES POLIMÉRICOS -

Os filmes poliméricos foram produzidos pela mistura de 4% (m/v) de álcool polivinílico (PVA) e 3% (m/v) de amido modificado de mandioca (AMM), na proporção de 80:20 (PVA/AMM) em solução aquosa. Em relação à massa seca de polímeros, as concentrações de plastificantes utilizadas foram de 12 e 25% para o AMM e PVA, respectivamente. A seguir as suspensões de nanofibrilas obtidas com 5; 10; 15; 20; 25 e 30 passagens pelo desfibrilador foram inseridas nas concentrações de 0,5; 1,5; 4,5 e 6,5% (massa seca). Conforme apresentado em Guimarães Jr. et al., (2015b), as suspensões de nanofibrilas foram então homogeneizadas, sonicadas e secas, com a finalidade de obter sua caracterização mecânica e os corpos de prova.

Resultados e discussão

CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA NATIVA E DA POLPA CELULÓSICA -

Os teores dos componentes das fibras ao final dos pré-tratamentos químicos e de refino estão descritos na tabela 1. Em comparação com as fibras tratadas, a fibra de bambu nativa apresentou menores percentuais de alfa-celulose (40,3%) e holocelulose (67,4%) e maiores percentuais de hemicelulose (27,0%), lignina (18,4%), extrativos (13,4%) e cinzas (2,2%). Após a polpação com NaOH-AQ (hidróxido de sódio + antraquinona e do refino), os teores de alfa-celulose e holocelulose da polpa aumentaram de forma significativa para 74,3% e 84,8%, respectivamente, enquanto os teores de componentes não celulósicos como hemiceluloses, lignina total e extrativos diminuíram para 10,5; 6,6 e



7,1% respectivamente. Os dados obtidos estão de acordo com os valores médios encontrados na literatura para a mesma espécie estudada (Morais et al., 2000) e dentro da faixa média de outras espécies com idades entre 2 e 4 anos (Wahab et al., 2013).

Após o segundo branqueamento, o conteúdo de alfa-celulose aumentou em torno de 112%; o de holocelulose, 42%. Os teores de hemiceluloses, lignina total e extrativos tiveram, respectivamente, redução de 61,5, 96,0 e 82,1% em relação à fibra natural. Os altos teores de alfa-celulose e holocelulose obtidos em consequência dos tratamentos indicam hidrólise da hemicelulose e clivagem de ligações lignina-hemicelulose, resultando na remoção de hemicelulose e de quase toda a lignina das polpas (Suess, 2010).

Esperava-se a redução nos teores de cinza após as etapas de branqueamento, o que não ocorreu (tabela 1). O acréscimo de cátions de sódio utilizados durante os branqueamentos pode ter contribuído para essa elevação, que se aproximou de 6% após o segundo branqueamento. De acordo com a tabela 1, fica evidente que os pré-tratamentos utilizados foram eficientes no isolamento das fibras de celulose, o que permitirá a desconstrução da parede celular destas fibras em elementos em micro e nanoescala. O tratamento PRM2B2 foi o mais eficiente, sendo, portanto, o escolhido para a obtenção das nanofibrilas.

Tabela 1. Composição química da fibra nativa e das polpas celulósicas de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad.) nas diferentes condições

Componentes	FNA ⁽¹⁾	PRST ⁽²⁾	PRM2 ⁽³⁾	PRM2B2 ⁽⁴⁾
Holocelulose (%)	67,4 ⁽⁵⁾ (3,2) ⁽⁶⁾	84,8 (3,6)	90,9 (4,6)	95,7 (3,8)
Alfa-celulose (%)	40,3 (2,2)	74,3 (1,6)	82,2 (2,6)	85,3 (3,8)
Hemicelulose (%)	27 (4,2)	10,5 (3,6)	8,7 (5,6)	10,4 (4,8)
Lignina total (%)	18,4 (1,8)	6,6 (1,6)	3,8 (2,2)	0,8 (2,7)
Extrativos totais (%)	13,4	7,1	3,5	2,4
Cinzas (%)	2,2 (1,3)	1,9 (1,9)	1,8 (2,8)	1,9 (2,3)

⁽¹⁾ FNA: fibra nativa; ⁽²⁾ PRST: polpa refinada sem tratamento; ⁽³⁾ PRM2: polpa refinada tratada com NaOH por duas vezes; ⁽⁴⁾ PRM2B2: polpa refinada tratada com NaOH por duas vezes e branqueada por duas vezes; ⁽⁵⁾ valores médios; ⁽⁶⁾ erro-padrão.

CARACTERIZAÇÃO DAS NANOFIBRILAS DE CELULOSE - Conforme exposto na seção anterior, a caracterização das fibras pré-tratadas levou à decisão de produzir as nanofibrilas utilizando as fibras PRM2B2. A análise dos difratogramas de raios X (DRX) permitiu concluir que a forma polimórfica predominante é atribuída à celulose I, uma vez que apresenta valores de ângulos de



Bragg de aproximadamente 15° e $22,5^\circ$, referentes aos planos cristalográficos 110 e 002, respectivamente, para todas as amostras avaliadas. Esses padrões são tipicamente de materiais semicristalinos. Os difratogramas obtidos apresentaram picos em posições semelhantes em todas as amostras investigadas. A figura 1 mostra que houve uma redução nos valores dos índices de cristalinidade de todas as amostras das nanofibrilas com maior número de passagens através do desfibrilador mecânico. Depois do cisalhamento e após 30 passagens pelo desfibrilador, houve uma queda de 13,5% no índice de cristalinidade da suspensão em relação àquelas com apenas cinco passagens. Esse comportamento é consequência dos danos ocasionados pelo cisalhamento dos nanocristais de celulose nas nanofibrilas.

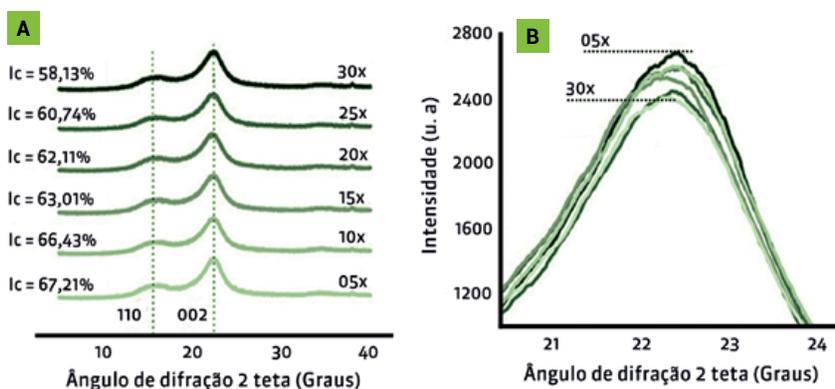


Figura 1. (A) Difratograma de raios X (DRX) das suspensões de nanofibrilas branqueadas de celulose com 5, 10, 15, 20, 25 e 30 passagens através de desfibrilador. (B) Ampliação do pico cristalino situado em $22,5^\circ$, correspondente ao plano cristalográfico 002, indicando posições das curvas após 5 e 30 passagens. Ic: índice de cristalinidade

Esse comportamento também corrobora o resultado encontrado por Guimarães Jr. et al. (2015a) durante a análise de transmitância óptica, uma vez que nanocristais maiores podem refletir e/ou absorver mais a intensidade da luz e tornar o material em questão mais opaco. Para o comprimento de onda de 800nm, a transmitância da suspensão de nanofibrilas, se comparada à suspensão com apenas cinco passagens, aumentou em 40% após 30 passagens pelo desfibrilador mecânico (Guimarães Jr. et al., 2015a).

Essas mesmas suspensões de nanofibrilas também foram ensaiadas quanto à sua viscosidade intrínseca (Guimarães Jr. et al., 2015a). O objetivo foi analisar o comportamento viscosimétrico das suspensões em relação ao nú-

mero de passagens pelo desfibrilador e comparar os efeitos obtidos com as análises microestrutural e óptica. Quando comparados à solução livre de cisalhamento, os resultados mostraram queda de cerca de 60% no valor da viscosidade intrínseca após 30 passagens pelo desfibrilador (Guimarães Jr. et al., 2015a). Esse comportamento reforça os resultados encontrados nas análises microestrutural e óptica, mostrando que está ocorrendo, com a formação de nanoestruturas celulósicas, a desconstrução da parede celular das fibras da polpa de bambu.

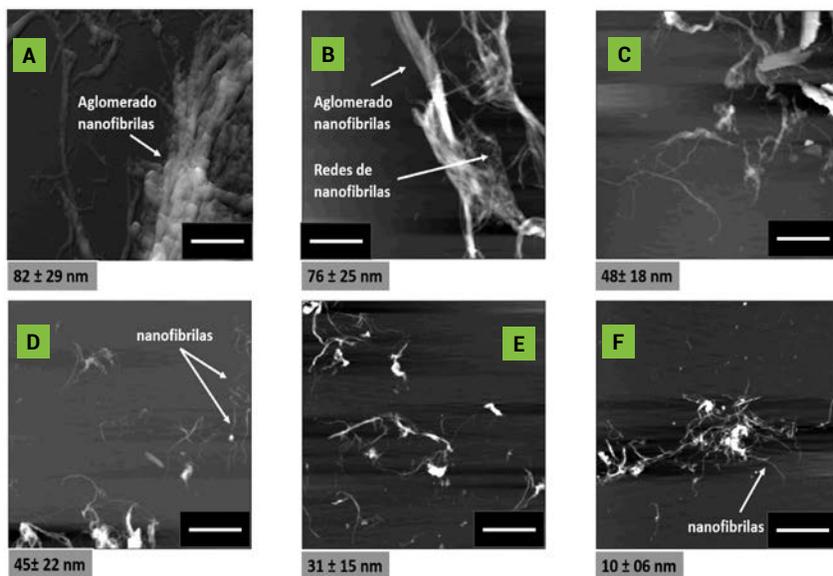


Figura 2. Imagens em topografia de microscopia de força atômica (MFA) obtidas de nanofibrilas de polpas refinadas/branqueadas de bambu (NRB) após (A) 5; (B) 10; (C) 15; (D) 20; (E) 25; e (F) 30 passagens pelo desfibrilador mecânico.

As setas mostram os novelos ou aglomerados de nanofibrilas (A, B) e as nanofibrilas (D, F). A área de escaneamento foi de $25\mu\text{m}^2$ ($5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$).

Os valores médios e desvios-padrão dos diâmetros das nanofibrilas estão apresentados no canto inferior esquerdo de cada imagem. Todas as barras de escala são de $1\mu\text{m}$

As imagens em topografia de MFA das suspensões de nanofibrilas de celulose de polpa de bambu estão apresentadas na figura 2. Elas mostram os aglomerados de nanofibrilas formados pelo método de secagem empregado antes da tomada das imagens. A figura 2 apresenta os valores médios (no canto inferior esquerdo de cada imagem) encontrados para os diâmetros das

micro/nanofibrilas após as várias passagens pelo desfibrilador. As imagens expõem a menor quantidade de elementos individualizados e a maior individualização dos feixes de nanofibrilas conforme o aumento do número de passagens das suspensões pelo desfibrilador mecânico.

A redução dos valores médios dos diâmetros das nanofibrilas após o número de passagens reforça as afirmações anteriores, uma vez que baixos valores de diâmetro indicam a maior dispersão e individualização dos feixes de nanofibrilas, tornando-as mais homogêneas, dispersas e estáveis. Os resultados da investigação morfológica são consistentes com a literatura sobre morfologia de materiais nanocelulósicos extraídos de diferentes fontes (Karimi et al., 2014).

A desintegração mecânica das fibras em função do número de passagens pelo desfibrilador resultou em suspensões de nanofibrilas com diâmetros predominantemente inferiores a 100nm e comprimentos estimados na escala micrométrica (figura 2). A redução dos valores médios encontrados para o diâmetro das nanofibrilas com o aumento no número de passagens de 5x para 30x foi de 87,6%, com diâmetros variando entre 82 ± 29 nm (para 5 passagens) e 10 ± 6 nm (para 30 passagens). Esses resultados são semelhantes aos resultados encontrados para difração de raios X (fig.1), bem como para transmitância óptica e viscosidade intrínseca apresentados por Guimarães Jr. et al. (2015a), conforme foi evidenciado no decorrer deste texto.

CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM NANOFIBRI-

LAS - As propriedades mecânicas de filmes poliméricos formados pela mistura de PVA e AMM e reforçados com nanofibrilas de bambu estão descritos na figura 3. Em relação ao filme sem nanofibrilas, os resultados mostram um aumento de 24% na resistência máxima à tração dos compósitos reforçados com 6,5% de nanofibrilas (com 30 passagens pelo desfibrilador). Enquanto o módulo de elasticidade diminuiu cerca de 40%, o alongamento na ruptura dos filmes com nanofibrilas aumentou 51%.

A exemplo do que ocorre com o polipropileno (PP), o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o poliéster-amida (PEA), a resistência máxima à tração desses compósitos é maior do que os valores apresentados pelos plásticos sintéticos sem reforço, largamente utilizados no setor agrícola e na indústria de embalagens plásticas e muito próximo ao valor encontrado para o polietileno linear de baixa densidade (PELDB).

O valor mensurado para o alongamento na ruptura superou os valores apresentados pelas poliolefinas (PP e alguns PEBDs) e pelo bioplástico derivado da cana de açúcar (ácido polilático – PLA).



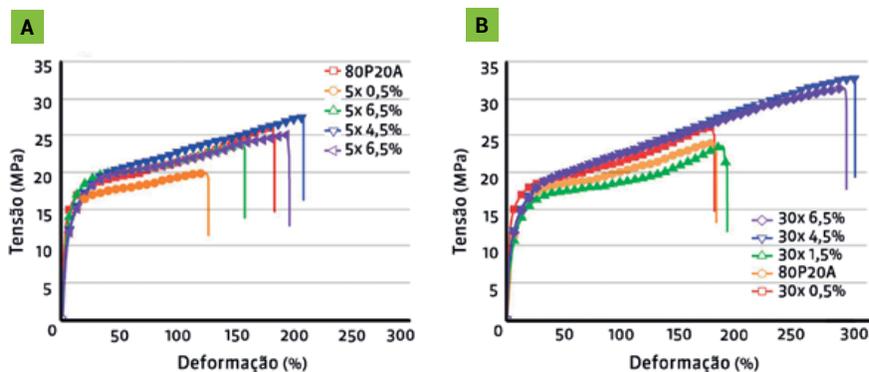


Figura 3. Curvas de tensão versus deformação em teste de tração dos compósitos reforçados com nanofibrilas de bambu após (A) 5 passagens e (B) 30 passagens pelo desfibrilador. 80P20A é a blenda formada na proporção de 80% de PVA e 20% de AMM, sem o reforço de nanofibrilas. O "x" depois de cada número na nomenclatura nos gráficos corresponde ao número de passagens pelo desfibrilador; as porcentagens indicam os teores de suspensão de nanofibrilas (massa seca)

Conclusões

1. As nanofibrilas celulósicas de polpa de bambu de até 10 ± 6 nm foram obtidas por meio do pré-tratamento PRM2B2 das fibras. Em seguida ao pré-tratamento, realizou-se o desfibrilamento mecânico.
2. O maior número de passagens pelo desfibrilador diminuiu em até 87,6% o diâmetro médio das nanofibrilas (se comparado a apenas cinco passagens), melhorando a homogeneidade das suspensões.
3. As forças de cisalhamento mecânico exercidas pelo desfibrilador reduziram a cristalinidade e a viscosidade das nanofibrilas, evidenciando, de acordo com o aumento do número de passagens pelo desfibrilador, sua transparência.
4. Os filmes poliméricos de álcool polivinílico (PVA) e amido de mandioca modificado (AMM), na forma de blendas e reforçados com as nanofibrilas de bambu, apresentam melhorias de até 24% na resistência à tração e 50% no alongamento até ruptura.
5. Este trabalho contribuiu para difundir diferentes métodos de produção de



nanofibrilas de celulose de bambu e de outros materiais lignocelulósicos com características morfológicas e estruturais distintas. Tanto as nanofibrilas quanto os materiais podem ser utilizados na produção de compósitos biodegradáveis. Esses compósitos servem a diversas aplicações.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pela bolsa de pesquisa;

À Universidade Federal de Lavras (UFLA-MG), à Rede Temática de Engenharia de Materiais (Redemat) e ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet-MG) pelo apoio na realização das pesquisas;

E à Celulose e Papel de Pernambuco (Cepasa S/A) pelo fornecimento das polpas de bambu.

Referências

- ABAF – ASSOCIAÇÃO BAIANA DAS EMPRESAS DE BASE FLORESTAL. **Panorama Mundial do Mercado Florestal. Relatório do ano de 2013**. Pituba-BA: ABAF, 2013, 46p. Disponível em: <<http://www.abaf.org.br/download/bahia-florestal-anuario-abaf-2013.pdf>>. Acesso em 22 abr. 2015.
- AGUIRRE, L.E.; DE OLIVEIRA, A.; SEC, D.; COPAR, S.; ALMEIDA, P.L.; RAVNIK, M.; GODINHO, M.H.; ZUMER, S. Sensing surface morphology of biofibers by decorating spider silk and cellulosic fillaments with nematic microdroplets. **Proceedings of the National Academy of Science**, v.113, p.1174-1179, 2016.
- AULIN, C.; VARGA, I.; CLAESSION, P.M.; WAGBERG, L.; LINDSTROM, T. Buildup of polyelectrolyte multilayers of polyethyleneimine and microfibrillated cellulose studied by in situ dual-polarization interferometry and quartz crystal microbalance with dissipation. **Langmuir**, v.24, p.2509-2518, 2008.
- BHATNAGAR, A.; SAIN, M. Processing of cellulose nanofiber reinforced composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v.24, p.1259-1268, 2005.
- CHEN, W.; YU, H.; LIU, Y.; CHEN, P.; ZHANG, M.; HAI, Y. Individualization of cellulose nanofibers from wood using high-intensity ultrasonication combined with chemical pretreatments. **Carbohydrate Polymers**, v.83, p.1804-1811, 2011.
- CHEN, W.; YU, H.; LIU, Y.; HAI, Y.; ZHANG, M.; CHEN, P. Isolation and characterization of cellulose fibers using a chemical ultrasonic process. **Cellulose**, v.18, p.433-442, 2011.
- CORRADINI, E.; MORAIS, L.C.; ROSA, M.F.; MAZZETTO, S.E.; MATTOSO, L.H.; AGNELLI, J.A.M. A preliminar study for the use of material natural fibres as reinforcement in starch-gluten-glycerol matriz. **Macromolecular Symposia**, v.245-246, p.558-564, 2006.
- EICHHORN, S.J.; DUFRESNE, A.; ARANGUREN, M.; MARCOVICH, N.E.; CAPADONA, J.R.;



- ROWAN, S.J.; WEDER, C.; THIELEMANS, W.; ROMAN, M.; RENNECKAR, S.; GINDL, W.; VEIGEL, S.; KECKES, J.; YANO, H.; ABE, K.; NOGI, M.; NAKAGAITO, A.N.; MANGALAM, A.; SIMONSEN, J.; BENIGHT, A.S.; BISMARCK, A.; BERGLUND, L.A.; PEIJS, T. Review: current international research into cellulose nanofibers and nanocomposites. **Journal of Materials Science**, v.45, p.1-33, 2010.
- GROSSER, D.; LIESE, W. On the anatomy of arian bamboos, with special reference to their vascular bundles. **Wood science and technology, New York**, v.5, p.290-312, 1971.
- GUIMARÃES JR, M.; NOVACK, K.M.; BOTARO, V.R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v.11, p.442-456, 2010.
- GUIMARÃES JR, M.; BOTARO, V.R.; NOVACK, K.M.; FLAUZINO NETO, W.P.; MENDES, L.M.; TONOLI, G.H.D. Preparation of cellulose nanofibrils from bamboo pulp by mechanical defibrillation for their applications in biodegradable composites. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v.15, p.6751-6768, 2015a.
- GUIMARÃES JR, M.; BOTARO, V.R.; NOVACK, K.M.; TEIXEIRA, F.G.; TONOLI, G.H.D. Starch/PVA-based nanocomposites reinforced with bamboo nanofibrils. **Industrial Crops and Products**, v.70, p.72-83, 2015b.
- HASSAN, M.L.; MATHEW, A.P.; HASSAN, E.A.; EL-WAKIL, N.A.; OKSMAN, K. Nanofibers from bagasse and rice straw: process optimization and properties. **Wood Science and Technology**, v.46, p.193-205, 2012.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Caracterização de Posição Internacional. Relatório do ano de 2013. São Paulo-SP: IBÁ, 2014, 110p. Disponível em: <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em 22 abr. 2015.
- KARIMI, S.M.; TAHIR, P.; KARIMI, A.; DUFRESNE, A.; ABDULKHANI, A. Kenaf bast cellulosic fibers hierarchy: A comprehensive approach from micro to nano. **Carbohydrate polymers**, v.101, p.878-885, 2014.
- LIESE, W. Bamboos – **Biology, silvics, properties, utilization**. GTZ Germany, 1985, 132p.
- MORAIS, R.L.C.; BENACHOUR, M.; DUARTE-COÊLHO, A.C. Estudo da caracterização reológica do licor negro do processo soda/*Bambusa vulgaris* Schrad. e do efeito da adição de peróxido de hidrogênio. In: Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, 2000.
- MORAN-MIRABAL, J.; CRANSTON, E. IB IN DEPTH – Cellulose Nanotechnology: fundamentals and Applications. **Industrial Biotechnology**, v.11, p.14-15, 2015. DOI: 10.1089/ind.2015.1501.
- NAKAGAITO, A. N.; YANO, H. The effect of morphological changes from pulp fiber towards nano-scale fibrillated cellulose on the mechanical properties of high-strength plant fiber based composites. **Applied Physics A**, v.78, p.547-552, 2004.
- OKAHISA, Y.; ABE, K.; NOGI, M.; NAKAGAITO, A.N.; NAKATANI, T.; YANO, H. Effects of delignification in the production of plant-based cellulose nanofibers for optically transparent nanocomposites. **Composites Science and Technology**, v.71, p.1342-1347, 2011.
- ORTS, W.J.; SHEY, J.; IMAM, S.H.; GLENN, G.M.; GUTTMAN, M.E.; REVOL, J.F. Application of cellulose microfibrils in polymer nanocomposites. **Journal of Polymers and the Environment**, v.13, p.301-306, 2005.
- PANTHAPULAKKAL, S.; SAIN, M. Preparation and characterization of cellulose nanofibril films from wood fibre and their thermoplastic polycarbonate composites. **International Journal of Polymer Science**, v.2012, p.1-6, 2012.

- PEREIRA, A.L.S.; NASCIMENTO, D.M. do; MORAIS, J.P.S.; SOUZA FILHO, M. de S.M. de; ROSA, M. de F. Valorização de resíduos agroindustriais: uso do pseudocaulo de bananeira como matéria-prima para obtenção de nanoestruturas de celulose. In: Encontro de Iniciação Científica da Embrapa Agroindústria Tropical, 8, 2010, Fortaleza. Resumos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. URL/URI: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34438/1/RE10163.pdf>>.
- PHONG, N.T.; GABR, M.H.; OKUBO, K.; CHUONG, B.; FUJI, T. Enhancement of mechanical properties of carbon fabric/epoxy composites using micro/nano-sized bamboo fibrils. **Material and Design**, v.47, p.624-632, 2013.
- SEGAL, L.; CREELY, L.; MARTIN, A.E.; CONRAD, C.M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v.29, p.786-794, 1959.
- SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Cellulose whiskers versus microfibrils: influence of the nature of the nanoparticle and its surface functionalization on the thermal and mechanical properties of nanocomposites. **Biomacromolecules**, v.10, p.425-432, 2009.
- STELTE, W.; SANADI, A.R. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from two commercial hardwood and softwood pulps. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v.48, p.11211-11219, 2009.
- STENSTAD, P.; ANDRESEN, M.; TANEM, B.; STENIUS, P. Chemical surface modifications of microfibrillated cellulose. **Cellulose**, v.15, p.35-45, 2008.
- SUESS, H.U. Pulp Bleaching Today. [S.l.]: De Gruyter, 2010. 320 p.
- SYVERUD, K.; CHINGA-CARRASCO, G.; TOLEDO, J.; TOLEDO, P.G. A comparative study of Eucalyptus and Pinus radiata pulp fibres as raw materials for production of cellulose nanofibrils. **Carbohydrate Polymers**, v.84, p.1033-1038, 2011.
- TAPPI Useful Method. **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**. Atlanta, USA, 1999.
- TERAMOTO, Y.; TANAKA, N.; LEE, S.H.; ENDO, T. Pretreatment of eucalyptus wood chips for enzymatic saccharification using combined sulfuric acid-free ethanol cooking and ball milling. **Biotechnology and Bioengineering**, v.99, p.75-85, 2008.
- TONOLI, G.H.D.; TEIXEIRA, E.M.; CORREA, A.C.; MARCONCINI, J.M.; CAIXETA, L.A.; PEREIRA DA SILVA, M.A.; MATTOSO, L.H.C. Cellulose micro/nanofibres from Eucalyptus kraft pulp: preparation and properties. **Carbohydrate Polymers**, v.89, p.80-88, 2012.
- VILLANOVA, J.C.O.; AYRES, E.; CARVALHO, S.M.; PATRÍCIO, P.S.; PEREIRA, F.V.; ORÉFICE, R.L. Pharmaceutical acrylic beads obtained by suspension polymerization containing cellulose nanowhiskers as excipient for drug delivery. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v.42, p.406-415, 2011.
- WAHAB, R.; MUSTAFA, M.T.; SALAM, M.A.; SUDIM, M.; SAMSI, H.W.; RASAT, M.S.M. Chemical Composition of four cultivated tropical bamboo in Genus Gigantochloa. **Journal of Agricultural Science**, v.5, p.66-75, 2013.



Painéis aglomerados produzidos com bambu



*Rafael Farinassi Mendes⁽¹⁾, Mario Guimaraes Junior⁽²⁾,
Joabel Raabe⁽³⁾, Danillo Wisky Silva⁽³⁾,
Gustavo Henrique Denzin Tonoli⁽³⁾ e Lourival Marin Mendes⁽³⁾*

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA-MG). Cx P. 3037, Lavras-MG, Brasil. CEP 37200-000. E-mail: rafael.mendes@deg.ufla.br

⁽²⁾ Departamento de Eletromecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet-MG, Campus Araxá). Av. Ministro Olavo Drummond, 25, Bairro São Geraldo, Araxá – MG, Brasil. CEP 38180-510. E-mail: mgjunior@araxa.cefetmg.br

⁽³⁾ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA-MG). Cx P. 3037, Lavras-MG, Brasil. CEP 37200-000. E-mails: joabeljr@hotmail.com, danilowisky@hotmail.com, gustavotonoli@yahoo.com.br, lourival@dcf.ufla.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com bambu (*Bambusa vulgaris* var. *Vittata*) e comparar seu desempenho com painéis aglomerados comerciais de pinus e eucalipto. Os painéis de bambu foram produzidos com densidade nominal de 700 kg/m³, relação face/miolo de 40:60, 11% de adesivo de ureia-formaldeído nas faces e 8% de adesivo para o miolo, pressão específica de 3,92 MPa, a 160 °C de temperatura e tempo de prensagem de 8 minutos. Os painéis foram analisados segundo suas propriedades físicas (densidade aparente, inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão) e suas propriedades mecânicas (ligação interna, módulo de ruptura – MOR – e módulo de elasticidade – MOE – à flexão estática). Os resultados mostram a viabilidade técnica da utilização do bambu na produção de painéis aglomerados do tipo MDP, inclusive no que diz respeito ao uso desses painéis em escala industrial.

TERMS PARA INDEXAÇÃO: COMPÓSITO, MATERIAL LIGNOCELULÓSICO, PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS, VIABILIDADE TÉCNICA.

Particleboard panels produced with bamboo

Abstract – The aim of this study was to evaluate the quality of particleboard produced with bamboo (*Bambusa vulgaris* var. *Vittata*) and compare its performance with pine and eucalyptus commercial panels. The bamboo panels were produced with nominal density of 700 kg/m³, 40:60 face:core relation, 11% urea-formaldehyde adhesive in the faces and 8% adhesive for core, specific pressure of 3.92 MPa, 160 °C temperature and pressing time of 8 minutes. The panels were evaluated according to their physical-mechanical properties - apparent density, thickness swelling and water absorption after 2 and 24 hours of immersion in water, internal bonding, and modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) under static bending. The results show that it is technically feasible to use bamboo for the production of the particleboard panels in industrial scale.

INDEX TERMS: COMPOSITE, LIGNOCELLULOSIC MATERIAL, PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES, TECHNICAL FEASIBILITY.

Introdução

Os painéis de madeira reconstituídos possuem algumas vantagens em relação à madeira maciça, entre as quais a diminuição da anisotropia – comportamento físico-mecânico diferente para cada um dos planos anatômicos –, o melhor aproveitamento da própria madeira e a eliminação de possíveis defeitos naturais. Além disso, é possível adequar as propriedades físico-mecânicas dos painéis de acordo com o uso dado a eles. Vale ressaltar que entre os diferentes tipos de painéis de madeira produzidos em escala industrial no Brasil estão os compensados, os aglomerados (MDP – *medium density particleboard*, painel de partículas de média densidade, em tradução livre), chapas de fibra de média densidade (MDF – *medium density fiberboard*), chapas de fibra de alta densidade (HDF – *high density fiberboard*), chapas isolantes e painéis de partículas orientadas (OSB – *oriented strand board*).

O início da produção de painéis no Brasil ocorreu em 1940, com a instalação da primeira fábrica de compensados. Em 1966, chegaram ao país os painéis de madeira aglomerada; em 1995, as chapas de fibra; em 1997, o MDF; e, finalmente, em 2002, o OSB.



De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de madeira aglomerada são produzidos com a aplicação de adesivos nas partículas de madeira, sendo posteriormente reconstituídos em uma matriz randômica. No fim, são consolidados por meio da aplicação de calor e pressão. A princípio, esses painéis podem ser produzidos a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e boas características físicas (Rowell et al., 2000; Mendes et al., 2010a).

Atualmente, as indústrias de painéis aglomerados consomem um volume significativo de madeira proveniente de florestas plantadas, principalmente dos gêneros pinus e eucalipto. No entanto, em função da expansão da indústria de móveis, o setor cresceu. Atualmente, é necessário trabalhar com espécies de rápido desenvolvimento, que contribuam de forma quantitativa e qualitativa na produção de painéis e na criação de novos produtos (Mendes et al., 2010a; Farrapo et al., 2014).

Nas últimas décadas, muitos materiais lignocelulósicos foram avaliados para produção de painéis aglomerados em escala laboratorial e industrial (de baixa escala), entre os quais podemos destacar o bagaço de cana, a casca de coco, a casca de café, o sabugo de milho, o caule de bananeira, a casca de mamona, entre outros (Widyorini et al., 2005; Mendes et al., 2009; Mendes et al., 2010b; Barros Filho et al., 2011; Mendes et al., 2012; Scatolino et al., 2013; Guimarães et al., 2014). Contudo, apesar de os resultados mostrarem grande potencial de utilização desses resíduos, ainda falta resolver algumas questões, como a sazonalidade desses produtos, a sua variação química e a sua baixa densidade – esta última dificulta a logística de transporte.

Uma alternativa para atender a demanda do setor de painéis é o bambu, uma espécie que pode ser conduzida em formato de plantio (do mesmo modo que ocorre com as madeiras utilizadas no processo atual de produção) e apresenta boa resistência mecânica. Além disso, o bambu cresce rápido; poderia, portanto, ser usado de forma intensiva – e ainda sustentável – na indústria de aglomerado.

No entanto, o potencial do uso do bambu em painéis aglomerados é pouco explorado. As informações disponíveis na literatura acadêmica sobre o seu uso são escassas. É necessário, por exemplo, elucidar a qualidade dos painéis de bambu em comparação aos painéis atualmente produzidos em escala industrial, entender a associação de materiais lignocelulósicos em diferentes porcentagens com a madeira de pinus, além de discutir o efeito da variação do tamanho de partículas e da quantidade de adesivo sobre as diferentes camadas dos painéis.

O objetivo deste estudo, portanto, foi avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com bambu e compará-los com painéis produzidos em escala industrial com madeiras de pinus e eucalipto.

Material e métodos

MATÉRIA-PRIMA - Os exemplares de *Bambusa vulgaris* foram obtidos de plantios experimentais realizados no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA-MG).

Para avaliar a qualidade dos painéis de bambu produzidos em escala laboratorial, adquiriram-se cinco painéis MDP comerciais de eucalipto e cinco painéis MDP de pinus produzidos no Brasil com o adesivo ureia-formaldeído. Esses painéis foram encaminhados à Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira da UFLA. No local, foram retirados corpos de prova com auxílio de uma serra circular esquadrejadeira. Posteriormente, os corpos de prova foram acondicionados em sala de climatização com condições de umidade e temperatura controladas (20 ± 20 °C e $65 \pm 5\%$ de UR) até atingir massa constante.

DENSIDADE BÁSICA E ANÁLISE QUÍMICA DO BAMBU - Para a determinação da densidade básica dos colmos de bambu foi utilizado o método descrito pela norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003). Determinaram-se a quantidade de extrativos totais, lignina, cinzas e, por diferença, a quantidade de holocelulose. As normas utilizadas para a quantificação de cada componente químico estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Normas utilizadas para determinação dos componentes químicos do bambu

Componente químico	Norma
Extrativos totais	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Lignina	NBR 7989 (ABNT, 2010)
Cinzas	NBR 13999 (ABNT, 2003)
Holocelulose	Calculado por diferença

PROCESSAMENTO E OBTENÇÃO DAS PARTÍCULAS - Para redução dos colmos em partículas, foram utilizados, no processamento do bambu, uma serra circular e um moinho martelo. Após essa etapa, com intuito de retirar os finos

e uniformizar o tamanho das partículas, o material particulado foi peneirado por meio da associação de três peneiras sobrepostas, cujas granulometrias foram de 1 mm (superior), 0,5 mm (intermediária) e 0,25 mm (inferior). As partículas retiradas da peneira intermediária foram classificadas como grossas e utilizadas no miolo dos painéis, enquanto as partículas retiradas da peneira inferior foram classificadas como finas e utilizadas nas faces dos painéis.

Em um segundo momento, essas partículas foram levadas a uma estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 70°C, até atingir umidade próxima de 5% (base seca).

PRODUÇÃO DOS PAINÉIS - Os painéis produzidos foram do tipo MDP, com densidade nominal de 700 kg/m³, em uma distribuição percentual de partículas de 20/60/20 (face/miolo/face). A aplicação do adesivo de ureia-formaldeído (teor de sólidos 57%, viscosidade de 261,4cP e pH de 9,5) sobre as partículas do miolo e das faces de cada painel foi realizada de forma separada (11% de adesivo nas faces e 8% de adesivo no miolo). Também foi adotado método de produção semelhante ao da fabricação de painéis de pinus ou de eucalipto em escala industrial no Brasil (com exceção da parafina, que não foi utilizada na produção dos painéis aglomerados de bambu).

Após a determinação de suas massas, as partículas de cada camada constituinte do painel foram levadas a um tambor rotativo para que, por meio do processo de aspersão, o adesivo fosse aplicado.

A massa referente a cada camada foi levada a um molde formador de colchão de 50 cm x 50 cm). Esse colchão foi pré-prensado em prensa manual (1,5 MPa), em temperatura ambiente. Posteriormente à formação do colchão, colocaram-se, em sua lateral, delimitadores de metal com espessura de 15 mm. Os colchões foram prensados a 160 °C, sob pressão de 3,94 MPa durante oito minutos.

A figura 1 ilustra a sequência de produção dos painéis de bambu em escala laboratorial.



Figura 1. Esquema de produção de painéis de bambu em escala laboratorial (A) Bambuzal; (B) Bambu cortado em serra circular; (C) Geração de partículas de bambu em moinho martelo; (D) Classificação das partículas de bambu para a face e para o miolo; (E) Secagem das partículas de bambu; (F) Aplicação de adesivo em encoladeira do tipo tambor rotativo; (G) Pré-prensagem e formação do colchão; (H) Prensagem a quente; (I) PAINEL DE BAMBU PRONTO

AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS PRODUZIDOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS - Os painéis foram resfriados em temperatura ambiente e posteriormente climatizados em uma sala com temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 5 %. Os corpos de prova foram confeccionados com o emprego de uma serra circular esquadrejadeira.

A norma ASTM – D1037 (2006) foi empregada para determinar as propriedades físicas de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão (AA2h e AA24h), as propriedades físicas de inchamento em espessura após 2 e 24 de imersão (IE2h e IE24h) e a propriedade mecânica de ligação interna. Para as propriedades de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática, foi empregada a norma DIN 52362 (1982). A densidade aparente dos painéis foi avaliada por meio da média da densidade de cada um dos corpos de

prova utilizados na determinação das propriedades físicas e mecânicas.

A análise dos resultados foi realizada por meio de um delineamento inteiramente casualizado. Para avaliar as variações das propriedades físico-mecânicas dos diferentes tratamentos, os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de média de Scott-knott, ambos a 5% de significância.

Resultados e discussão

ANÁLISE QUÍMICA E DENSIDADE BÁSICA DO MATERIAL - O bambu apresentou densidade básica média de $263 \pm 3 \text{ kg/m}^3$. Os valores médios obtidos para os componentes químicos estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Composição química do bambu

Componente químico	<i>Bambusa vulgaris</i> (%)*
Extrativos	9,24 (2,95)
Lignina	24,06 (1,52)
Cinzas	1,34 (4,01)
Holocelulose	65,36 (0,29)

*Os valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação.

Marinho et al. (2012), ao avaliarem a composição química do *Dendrocalamus giganteus* com idades entre 2 a 6 anos, observaram valores médios de 8,37% para extrativos totais, 19,38% de lignina, 0,66% de cinzas e 71,59% de holocelulose. Moreira (2012), ao avaliar a constituição química para a espécie *Bambusa vulgaris* Schard com idades entre 1 a 3 anos, obteve valor médio de 4,74% de extrativos, 24,28% de lignina e 70,98% de holocelulose. Brito et al. (1987) encontraram para o *Bambusa vulgaris* com idades entre 3 a 4 anos valor médio de 66,3% para holocelulose, 17,5% de lignina e 16,2% de extrativos.

Klock et al. (2005) afirmam que as madeiras de coníferas apresentam valor de $69 \pm 4\%$ para holocelulose, $28 \pm 2\%$ para lignina e $5 \pm 3\%$ para extrativos. Por sua vez, as madeiras de folhosas variam entre $75 \pm 7\%$ para holocelulose, $20 \pm 2\%$ para lignina e $3 \pm 2\%$ para extrativos.

De forma geral, os resultados neste estudo da análise química do bambu se mostraram coerentes com os valores observados em outros trabalhos. No entanto, em comparação aos trabalhos que avaliaram as madeiras de coníferas e folhosas, este estudo apresentou maiores valores de extrativos, o que pode vir a afetar a colagem das partículas, uma vez que pode dificultar a penetração e/ou a cura do adesivo.

PROPRIEDADES FÍSICAS

Densidade aparente e umidade dos painéis - Os valores médios de densidade aparente e umidade dos painéis em estudo estão apresentados abaixo, na tabela 3.

Tabela 3. Densidade aparente e umidade dos painéis

Tipo de matéria-prima	Densidade aparente (kg/m ³)*	Umidade (%)*
Pinus	662 (5,29)* a	9,69 (2,7) a
Eucalipto	683 (4,25) a	9,41 (2,8) a
Bambu	715 (7,09) a	10,80 (3,4) b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

*Os valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação.

A densidade aparente variou entre 662 e 715 kg/m³, permitindo classificar os painéis em estudo como de média densidade (550 a 750 kg/m³) segundo critérios indicados pela norma técnica NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Não houve diferença estatística significativa entre as densidades aparentes médias dos painéis comerciais e dos painéis produzidos com partículas de bambu. Houve, no entanto, diferença estatística significativa do valor da umidade entre esses painéis. A explicação para esse fato pode estar associada à não aplicação da parafina na produção dos painéis com partículas de bambu, o que causou maior absorção de umidade e água e, conseqüentemente, aumento do teor de umidade (Maloney, 1993; Guimarães Jr. et al., 2013).

As normas de comercialização EN 312 (2003) e NBR14810-2 (2013) estipulam como valores adequados de umidade dos painéis a faixa entre 5 e 13%. Portanto, todos os tratamentos estão de acordo com o intervalo determinado.

Absorção de água e inchamento em espessura - Na figura 2, pôde-se verificar a absorção média de água dos painéis após 2 horas (AA2h) e 24 horas (AA24h) de imersão. Os painéis produzidos com bambu apresentaram maiores valores médios de AA2h e AA24h, diferenciando-se estatisticamente dos painéis comerciais de pinus e eucalipto. Esse comportamento pode estar associado à não utilização de parafina durante a etapa de produção dos painéis (Guimarães Jr. et al., 2013), prática comum em escala industrial. Além disso, pode estar associado também ao aumento da área superficial das partículas – destaca-se aqui a menor densidade do bambu em comparação às madeiras de pinus e eucalipto, característica que pode gerar o aumento da quantidade de partículas na formação de um painel com densidade pré-determinada.

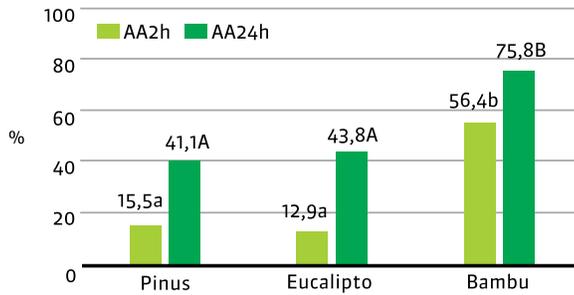


Figura 2. Absorção de água dos painéis aglomerados

*Médias seguidas de mesma letra, minúscula para AA2h e maiúscula para AA24h, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de média Scott-knott a 5% de significância

Na figura 3, pôde-se verificar o inchamento médio da espessura dos painéis após 2 horas (IE2h) e 24 horas (IE24h) de imersão em água. Observou-se que os painéis produzidos com bambu apresentaram os maiores valores médios de IE2h e IE24h, diferenciando-se estatisticamente dos painéis aglomerados comerciais de pinus e eucalipto.

Esse fato pode estar associado à maior absorção de água em função da não utilização de parafina para produção dos painéis (Guimarães Jr. et al., 2013). Pode estar associado também à menor densidade do bambu, já que foi necessária maior quantidade de partículas para produzir um painel com densidade pré-definida, promovendo assim o aumento da razão de compactação e, por consequência, o aumento das tensões de prensagem. Além disso, é possível que esse comportamento tenha ocasionado o aumento dos valores de inchamento em espessura, pois, quando o painel entrou em contato com a água, as tensões de prensagem foram liberadas (Mendes et al., 2013).

Cunha et al. (2014), ao estudarem a produção de painéis aglomerados com as madeiras de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*, com 12% de adesivo ureia-formaldeído e 1% de parafina, obtiveram valores entre 10,8 e 27,3% para AA2h, entre 27,6 e 55,5% para AA24h, entre 3,1 e 7,2% para IE2h e entre 11,7 e 25,9% para IE24h. Iwakiri et al. (2001) avaliaram a produção de painéis aglomerados com diferentes tipos de espécies de pinus tropicais – com 8% de ureia-formaldeído e sem a aplicação de parafina – e observaram valores médios entre 68,82 e 75,43% para AA2h, entre 78,7 e 93,8% para AA24h, entre 25,2 e 34,8% para IE2h e entre 39,7 e 32,7% para IE24h. De forma geral, o comportamento dos painéis de bambu foi similar ao comportamento encontrado na literatura dos painéis produzidos com as madeiras de eucalipto. Além disso, constatou-se desempenho físico superior aos painéis produzidos com a madeira de diferentes espécies de pinus tropicais.

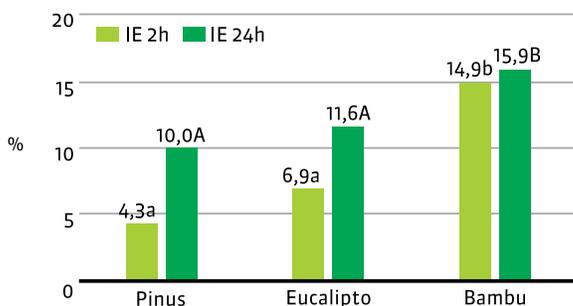


Figura 3. Inchamento em espessura dos painéis aglomerados

*Médias seguidas de mesma letra, minúscula para IE2h e maiúscula para IE24h, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

A norma de comercialização brasileira (NBR 14810, 2013) determina o valor máximo para o IE24h de 18%; a norma europeia (EN312, 2003), o valor máximo de 14%; e a norma americana (ANSI A 208.1, 1993), o valor máximo de 12,5%. Nesse sentido, os painéis produzidos com bambu atenderam aos requisitos apenas da norma brasileira. Portanto, caso houvesse interesse em produção para exportação, seria necessário adaptar o processo para atender as normas europeia e americana.

PROPRIEDADES MECÂNICAS - A tabela 4 apresenta a comparação entre a média dos valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática e ligação interna dos painéis produzidos com partículas de bambu e os painéis comerciais de pinus e eucalipto.

Tabela 4 – Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados

Tipo de painel	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Ligação interna (MPa)
Pinus	13,6 (5,8) A	1833 (6,0) A	0,52 (5,82) A
Eucalipto	13,5 (5,2) A	1907 (5,1) A	0,57 (3,50) A
Bambu	14,2 (3,5) A	1894 (4,6) A	0,68 (5,88) A
Norma EN312 (2003)	13,0	1600	0,35
ANSI A 208.1 (1993)	11,0	1725	0,40
NBR 14810-2	11,0	1600	0,35

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

*Os valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação.

Não houve diferença estatística significativa entre as propriedades mecânicas (MOR e MOE à flexão estática e ligação interna) dos painéis em

estudo. Esse resultado demonstra o potencial do bambu para a produção de painéis MDP.

Em relação ao observado em coníferas e folhosas, a maior quantidade de extrativos observada para o bambu (tabela 2) não apresentou efeito significativo sobre as propriedades mecânicas dos painéis.

Cunha et al. (2014), ao estudarem a produção de painéis aglomerados com a madeira de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*, com 12% de adesivo urea-formaldeído e 1% de parafina, obtiveram valores entre 11,7 e 15,4 MPa para o MOR, entre 1741 e 2213 MPa para o MOE e entre 0,71 e 1,06 MPa para ligação interna. Iwakiri et al. (2012) avaliaram a produção de painéis aglomerados com a madeira de *Pinus taeda* – com 6% de ureia-formaldeído para o miolo e 10% de adesivo ureia-formaldeído para as faces – e observaram valores médios de 11,6 MPa para o MOR, 1945 MPa para o MOE e 0,43 MPa para ligação interna. De forma geral, os painéis de bambu apresentaram propriedades mecânicas similares aos valores encontrados em literatura para os painéis produzidos com eucalipto e pinus.

Quanto às propriedades mecânicas avaliadas, os painéis produzidos com partículas de bambu atenderam a todos os requisitos da norma de comercialização brasileira (NBR 14810, 2013), da norma europeia (EN312, 2003) e da norma americana (ANSI A 208.1, 1993), sendo possível recomendá-los para a produção de painéis MDP em escala industrial.

Conclusões

1. Os resultados mostram a viabilidade técnica da utilização do bambu na produção de painéis aglomerados do tipo MDP, com a possibilidade de sua utilização na produção de painéis em escala industrial.
2. Os painéis de bambu apresentam propriedades mecânicas semelhantes aos painéis comerciais de pinus e eucalipto.
3. Os painéis de bambu apresentam maior absorção de água e inchamento em espessura se comparados aos painéis comerciais.
4. Os painéis de bambu atendem a todos os requisitos estipulados pela norma brasileira de comercialização.

Referências

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI A208.1: **Mat-formed wood particleboard: Specification**. Gaithersburg, 1993.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1037 – **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia, 30 p., 2006.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810: **Chapas de madeira aglomerada – parte 2: requisitos**. Rio de Janeiro, 4p. 2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7989: **Pasta celulósica e madeira – Determinação de lignina insolúvel em ácido**. Rio de Janeiro, 6p., 2010.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941 – **Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 6p., 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: **Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C**. Rio de Janeiro, 4 p., 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14853: **Madeira – Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona**. Rio de Janeiro, 3 p., 2010.
- BARROS FILHO. R.M.; MENDES. L.M.; NOVACK. K.M.; APRELINI. L.O.; BOTARO. V.R. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, v.33, p.369-373, 2011.
- BRITO, J.O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A.L. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **Revista IPEF (Atual Scientia Forestalis)**, v.36, p.13-17, 1987.
- CUNHA, A.B.; LONGO, B.L.; RODRIGUES, A.A.; BREHMER, D.R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v.42, p.259-267, 2014.
- DIN – NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength: DIN 52362. Berlin, 1982. p. 39-40.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 312. **Particleboard – Specifications**. Bruxelas, 1993.
- FARRAPO, C.L.; MENDES, R.F.; GUIMARÃES JR., J.B.; MENDES, L.M. Utilização da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 42, p.329-335, 2014.
- GUIMARÃES JUNIOR, J.B.; MENDES, L.M.; MENDES, R.F.; GUIMARÃES, B.M.R.; MELO, R.R. Efeito do teor da parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Ciência da Madeira**, v.4, p.72-82, 2013.
- GUIMARAES, B.M.R.; MENDES, L.M.; TONOLI, G.H.D.; BUFALINO, L.; MENDES, R.F.; GUIMARÃES JR., J.B. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. **Ciência e agrotecnologia**, v.38, p. 43-49, 2014.
- IWAKIRI, S.; SILVA, J.R.M.; MATOSKI, S.L.S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e ambiente**, v.8, p.137-142, 2001.

- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 274p.
- IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J.G. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (Cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, v.18, p.465-470, 2012.
- KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da madeira**. 3ª edição revisada. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – Paraná, 2005. 86 p.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2nd ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.
- MARINHO, N.P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A.S.; MUNIZ, G.I.B. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* wall. ex munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v.22, p.417-422, 2012.
- MENDES, R.F.; GUIMARÃES JR., J.B.; SANTOS, R.C.; BUFALINO, L. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, v.32, p.209-218, 2009.
- MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C.S.; GUIMARÃES JR., J.B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 38, p.285-295, 2010a.
- MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JR., J.B.; MORI, F.A.; CESAR, A.A.S. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciência e agrotecnologia**, v.34, p.610-617, 2010b.
- MENDES, R.F.; GUIMARÃES JR., J.B.; SANTOS, R.C.; CÉSAR, A.A.S. Efeito da associação de bagaço de cana, tipo e teor de adesivo na produção de painéis aglomerados com madeira de pinus. **Ciência Florestal**, v.22, p.187-196, 2012.
- MENDES, R.F.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; ALMEIDA, N.F.; SURDI, P.G.; BARBEIRO, I.N. Effect of thermal treatment on properties of OSB panels. **Wood Science and Technology**, v.47, p.243-256, 2013.
- MOREIRA, A.C.O. Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. vulgaris, e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia. 2012. 72p. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-188/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília-DF.
- ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C. (Eds.). **Natural polymers and agrofibers based composites. Section II – Agrofibers Composites**. São Carlos – Embrapa Instrumentação Agropecuária. 2000. P.115-134.
- SCATOLINO, M.V.; SILVA, D.W.; MENDES, R.F.; MENDES, L.M. Uso do sabugo de milho na produção de painéis aglomerados. **Ciência e Agrotecnologia**, v.37, p.330-337, 2013.
- WIDYORINI, R.; XU, J.; UMEMURA, K.; KAWAI, S. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal of Wood Science**, v.51, p.648-654, 2005.



Guadua weberbaueri, nova matéria-prima para painéis compensados

Daniel do Nascimento Lima⁽¹⁾, *Dixon Gomes Afonso*⁽¹⁾
e *Suelem Marina de Araújo Pontes*⁽¹⁾

⁽¹⁾Fundação de Tecnologia do Estado do Acre. Av. das Acácias, 279 – Distrito Industrial, CEP. 69.920-175 – Rio Branco (AC). E-mails: daniel.lima@ac.gov.br, dixon.afonso@ac.gov.br e suelem.pontes@ac.gov.br

Resumo – Aproximadamente 40% da cobertura florestal do estado do Acre é composta por bambus, sendo as espécies do gênero *Guadua* as mais comuns, especialmente a *Guadua weberbaueri*. Dada a vasta ocorrência natural do bambu nativo, este capítulo discorre sobre a produção e caracterização física e mecânica de painéis compensados de bambu *Guadua weberbaueri*. Foram coletados colmos e todo o material passou por beneficiamento em serraria para desdobro em ripas. Posteriormente, as ripas foram tratadas com preservativo bórax, na concentração de 5%, e, a partir do material beneficiado, foram produzidos os painéis compensados com adesivo em emulsão aquosa à base de poliacetato de vinila (PVAc). Dos painéis foram retiradas as amostras para ensaios do teor de umidade e massa específica aparente, além de caracterização mecânica por meio de ensaio de flexão perpendicular e paralela às fibras e de cisalhamento na linha de cola, para obtenção da tensão de ruptura. Os resultados se mostraram semelhantes aos encontrados para painéis compensados de madeira da espécie *Ceiba pentandra*, já existentes no mercado, e demonstram a viabilidade do uso do novo painel para aplicação em ambientes internos, livres de intempéries.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: GUADUA WEBERBAUERI, FORROS, DIVISÓRIAS, CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.



Guadua weberbaueri, new raw material for plywood panels

Abstract – *Approximately 40% of the Acre State forest cover consists of bamboo, being the species of the genus Guadua the most common, especially the Guadua weberbaueri species. Given the vast natural occurrence of native bamboo, this chapter discusses the production and the physical and mechanical characteristics of Guadua weberbaueri plywood panels. We collected culms and all the material underwent processing in sawmill to be unfolded in slats. Subsequently, the slats were treated with borax preservative at a concentration of 5% and the plywood panels were produced with adhesive in aqueous emulsion based on vinyl polyacetate. Samples were withdrawn in order to test humidity content and bulky specific mass, as well as mechanical characterization using both perpendicular and parallel to fiber bending and glue line shear testing to obtain the breaking strain. The results were similar to those for Ceiba pentandra panels that are already on the market, and demonstrate the feasibility of using the new panel in internal, weathering-free environments.*

INDEX TERMS: GUADUA WEBERBAUERI, CEILINGS, PARTITIONS, PHYSICAL CHARACTERIZATION, MECHANICAL CHARACTERIZATION.

Introdução

A cada ano, cresce na Amazônia a busca por recursos renováveis e produtos de baixo custo compatíveis com a situação socioeconômica da população da região. Nesse contexto, cresce também a demanda por pesquisas que tenham como objetivo minimizar as carências identificadas, sobretudo no que diz respeito às formas de utilização dos recursos florestais.

Segundo Tonello e colaboradores (2006), a colheita seletiva de madeira ou garimpagem florestal ainda é uma atividade predominante, responsável pelo abastecimento da maioria das indústrias locais. Paralelamente, o avanço do desmatamento e da pressão sobre espécies florestais de maior valor econômico sugere que, no futuro, as riquezas das florestas estarão seriamente comprometidas.

Se, por um lado, a exploração madeireira como feita hoje está longe do conceito de economia sustentável, por outro a necessidade de se utilizar a

madeira como matéria-prima ainda é uma realidade inquestionável. Assim, faz-se necessário buscar produtos alternativos, de modo a minimizar a pressão antrópica sobre as espécies florestais mais exploradas e evitar que essas espécies se tornem escassas – como já ocorreu, por exemplo, com o mogno (*Swietenia macrophylla*).

Em diversas pesquisas, despontou como alternativa promissora à madeira o uso do bambu. Leve, resistente e versátil, esse material tem características físicas e mecânicas adequadas à fabricação de diferentes produtos – como painéis compensados ou sarrafeados, pisos e laminados – por meio de processos limpos do ponto de vista ecológico e pode ser utilizado na construção civil e de mobiliário, entre outros (Moizés, 2007). Muitas das propriedades presentes em seus colmos são similares às da madeira, mas com o diferencial da alta produtividade: apenas dois anos e meio após ter brotado do solo, o bambu possui resistência mecânica estrutural, uma rapidez sem concorrentes no reino vegetal (Ghavami, 1989).

O uso de bambu como alternativa à madeira não é uma ideia nova: o primeiro painel de bambu foi produzido na China em 1940 (Ganapathy, Huan-Ming & Zoolagud, 2002). Desde então, cerca de 28 tipos de painéis foram desenvolvidos, dos quais apenas alguns foram resultado de pesquisas detalhadas e produzidos em escala industrial, como *bamboo mat board* e *bamboo strip board*. Entre os países produtores, destacam-se China, Índia, Tailândia, Vietnã, Canadá, Costa Rica e Malásia. Destes, podemos citar o primeiro como grande exemplo de rentabilidade dessa atividade – a China teve, em 2007, uma participação de US\$ 5,5 bilhões no mercado mundial de bambu, estimado, naquele ano, em US\$ 7 bilhões (DFRS, 2010).

No Brasil, o bambu ocorre em grandes extensões da Amazônia, principalmente no Acre. Xangai (2005, citado por Ostapiv, Salamon & Gonçalves, 2008) relata que pelo menos 38% das florestas de todo o estado são compostas por três variedades de bambu, todas com potencial comercial e industrial, especialmente o do gênero *Guadua*. Além de sua disponibilidade na natureza, esse tipo de bambu tem alta produtividade, apresentando colmos maduros três anos após a brotação. E mais: se os colmos maduros forem retirados adequadamente, a produção da touceira aumenta nos anos seguintes.

Ostapiv e colaboradores (2008) também destacam que, diferentemente das árvores, os colmos de bambu podem ser retirados sem matar a planta ou prejudicar a floresta – outra vantagem da utilização dessa matéria-prima. Resta, portanto, ter certeza da qualidade desse material e de como usá-lo de maneira segura e eficaz, uma lacuna que o presente trabalho pretende preencher. Por meio da fabricação e da caracterização física e mecânica de painéis

compensados de bambu nativo *Guadua weberbaueri*, buscou-se avaliar a qualidade do produto beneficiado, com vistas à aplicação em forros e divisórias.

Material e métodos

ÁREA DE COLETA - A coleta dos colmos de bambu foi realizada na Floresta Estadual do Antimary (FEA), localizada no município de Bujari, no Acre (coordenadas: 19 L - 574494 UTM 8968167), próximo ao quilômetro 100 da BR 364, sentido Rio Branco - Sena Madureira, Ramal do Ouro.

Criada em 1988 para execução do Projeto de Manejo Sustentável de Uso Múltiplo no Estado do Acre, financiado pela International Tropical Timber Organization (ITTO), a FEA foi formalizada quase dez anos depois, por meio do Decreto nº 046, de 7 de fevereiro de 1997, no qual se definiu uma área de 76.832 hectares que incluía os Assentamentos Agroextrativistas Canary e Limoeiro. Posteriormente, o Decreto nº 13.321, de 1º de dezembro de 2005, finalizou o processo de arrecadação e definiu os atuais limites da FEA, que totalizam uma área de 47.064,670 ha, compreendendo uma faixa de terra que se limita, de um lado, com o estado do Amazonas e, do outro, em paralelo com a BR-364.

Essa área foi escolhida para coleta tendo em vista os estudos realizados pela FUNTAC (Fundação de Tecnologia de Tecnologia do Estado do Acre, 1990), que abordaram diversos aspectos da população de bambus da FEA e serviram como indicativo de ocorrência da espécie *Guadua weberbaueri*, objeto de estudo deste trabalho.

AMOSTRAGEM E EXTRAÇÃO - A primeira etapa foi o levantamento da quantidade de colmos necessários para a confecção dos painéis. Para isso considerou-se a quantidade de taliscas geradas a partir de um único colmo coletado, extrapolando-se a quantidade necessária com um adicional de 20% para cobrir eventuais perdas de material devido a problemas no beneficiamento. Em seguida, foram produzidos dez painéis para a realização de ensaios físicos e mecânicos e dois painéis para serem utilizados como protótipos nas apresentações dos resultados. Para a produção dos doze painéis, estimamos a quantidade de 250 colmos de *G. weberbaueri*, com comprimento de dois metros a partir do solo.

O passo seguinte foi a identificação dos colmos maduros a partir de características como coloração, porte, presença de ramos, espinhos e resistência ao corte. Essa foi uma etapa mais complexa por se tratar de bambu nativo,



isto é, disponível na natureza, para o qual não estava registrada a informação exata do ano de brotação de cada colmo.

Pereira e Beraldo (2008) relatam que, em uma touceira, haverá colmos de várias idades, com denominação para cada estágio do seu desenvolvimento – brotos (um ano), jovens (um a três anos) e maduros (acima de três anos). A identificação dos bambus, segundo esses autores, dá-se pela visualização de pontos e manchas nos colmos e por sua coloração. A presença dos pontos e manchas pelo colmo indica a idade de três anos ou mais, e a coloração verde escura indica seu estado de maturação – quanto mais escuro, mais maduro. O bambu na fase jovem, por sua vez, apresenta maior brilho, podendo estar envolto por folhas caulinares – porém não foram coletados nesta pesquisa indivíduos com essas características.

Por fim, o corte dos colmos maduros foi realizado com uso de motosserra, cerca de 30 centímetros acima do solo, rente ao nó, evitando a formação de cavidade que favoreça o acúmulo de água, fator que pode provocar o apodrecimento do rizoma por ataque de fungos. Após a coleta e o processo de cura por 20 dias, os colmos foram seccionados em pedaços de igual tamanho, de acordo com o comprimento necessário das taliscas para fabricação dos painéis. Assim, cada colmo de dois metros foi dividido em duas peças de um metro, resultando em 500 seções.

DESDOBRO DO MATERIAL - Para o desdobro do bambu foi utilizada serra circular e os colmos foram divididos em aproximadamente 2.500 taliscas, com uma média de cinco taliscas por seção do bambu. As dimensões das taliscas foram definidas antes de sua confecção (80 cm de comprimento, 3 cm de largura e 0,5 cm de espessura).

Note-se que o processo de plainar, para se alcançar a espessura desejada, só foi realizado após o tratamento preservativo contra xilófagos (imersão em solução com produto químico). Optou-se por tratar as taliscas primeiro porque, durante o processo de secagem natural após o tratamento, as peças poderiam apresentar empenamentos e rachaduras, impossibilitando o aproveitamento do material. Dessa forma, realizou-se, após tratamento e secagem, a seleção das taliscas de melhor qualidade, que foram em seguida beneficiadas com auxílio de plaina e desengrossadeira, tendo como resultado peças nas dimensões planejadas. Finalmente, a largura das taliscas foi reduzida de 3 cm para 2,5 cm com uso de serra circular com disco fino, com vistas a um melhor acabamento nas faces laterais das ripas para se obter melhor encaixe e colagem no momento da manufatura das lâminas formadoras dos painéis.

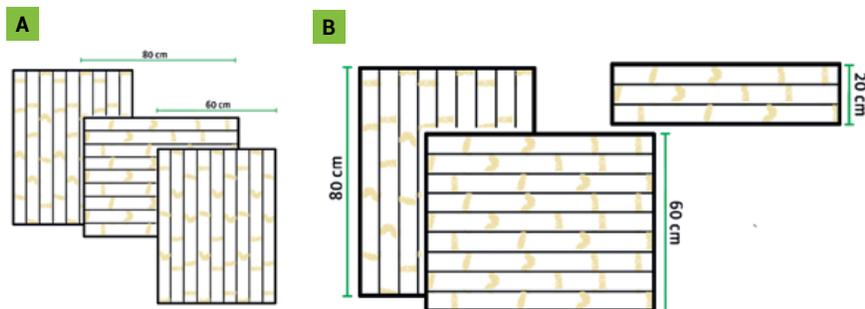
TRATAMENTOS APLICADOS - O bambu é um material de baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, entre os quais o mais comum é o besouro *Dinoderus minutus*, que consome o amido presente na constituição do vegetal.

Para neutralizar esse efeito, foi aplicado nas taliscas um tratamento químico, por imersão, com solução em água de ácido bórico e bórax na concentração de 5%, conforme recomendações de Liese (2004). As taliscas selecionadas foram divididas em seis lotes de 250 peças e imersas em um tanque metálico, dois lotes por vez. Cada lote permaneceu submerso na solução por sete dias e, imediatamente após a retirada do material da solução química, as taliscas foram postas para secar em condição ambiente, em área coberta e com circulação de ar, onde permaneceram por 30 dias, até atingir umidade de equilíbrio com o ambiente.

MONTAGEM DOS PAINÉIS - A definição das medidas finais dos painéis foi baseada nas características da prensa utilizada, cujas dimensões eram de 80 cm x 60 cm. Para a espessura, optou-se por utilizar uma configuração com três laminas de 0,5 cm cada, resultando em painéis com espessura próxima de 1,5 cm.

Após a definição das dimensões, deu-se início à confecção das lâminas. Para esse processo foram dispostas 25 taliscas de 2,5 cm de largura uma ao lado da outra. Por ação de parafusos com roscas na mesa projetada, ocorreu a prensagem lateral das taliscas, formando as lâminas.

Como cada painel seria composto por três lâminas, foi necessária a confecção de 36 lâminas de 80 cm x 60 cm (figura 1a). Na camada central dos painéis, como as lâminas foram dispostas em sentido perpendicular às laminas externas, foi preciso adicionar uma lâmina extra de 20 cm, conforme mostra a figura (figura 1b). Por esse motivo foram confeccionadas mais cinco lâminas, das quais foram retiradas as peças com largura de 20 cm, que serviram para completar cada painel. No total, foram utilizadas 1.025 das 1.500 taliscas tratadas.



FONTE: O AUTOR

Figura 1. Esquema de montagem dos painéis com lâminas de bambu

A colagem e a prensagem dos painéis foram realizadas de acordo com as especificações presentes no boletim técnico do adesivo utilizado: Wonderbond 2320, um adesivo em emulsão aquosa à base de poliacetato de vinila (PVAc) ou cola branca para madeiras¹. Esse líquido pode ser aplicado diretamente na madeira, prensado em temperatura ambiente ou por meio de alta frequência².

Depois de colado, o produto apresenta alta resistência mecânica quando em ambiente seco. No entanto, seu uso não é recomendado em ambientes com altas temperaturas e alta umidade (Prata, 2010)³.

Conforme especificações do fabricante de adesivo, para a colagem das lâminas adotou-se a gramatura de 180 g/m². Foi adicionada a quantidade especificada de adesivo nas superfícies das lâminas e estas foram colocadas de forma transversal, uma sobre a outra, formando o painel de três lâminas. Os painéis foram levados à prensa fria com carga em torno de 8 kgf/cm², onde permaneceram por seis horas. Após a prensagem, foram mantidos em ambiente seco por período superior a 24 horas, até serem levados para marcenaria para confecção dos corpos de provas para caracterização físico-mecânica.

¹ Utilizou-se um adesivo à base de água para a realização do trabalho devido à sua disponibilidade; no entanto, é recomendável para a manufatura de painéis o uso de adesivos fenólicos, que apresentam maior resistência à umidade e temperatura.

² Essa técnica de colagem utiliza a emissão de ondas de alta frequência na madeira. As ondas aquecem a cola e a água presentes no material ao nível molecular. Assim, o aumento de temperatura ocorre apenas nessas moléculas, e não em todo o painel

³ De acordo com a norma EN-204 (2001), os adesivos são classificados em quatro grupos de durabilidade: D1, D2, D3 e D4, sendo o primeiro aquele que se enquadra nas menores exigências. A classe D1 é constituída por adesivos aplicados em componentes de uso interior que ficam expostos em ambientes que apresentam condições de umidade de equilíbrio de 15%. Assim, considera-se que o material estudado se encaixa nesse grupo, sendo indicado para aplicação em ambientes internos, incluindo forros, divisórias e demais aplicações em que não esteja exposto à umidade elevada.

CONFEÇÃO DE CORPOS DE PROVA - Para estabelecer um parâmetro de comparação entre os painéis de *G. weberbaueri* e os já existentes no mercado com aplicações semelhantes, foram adquiridos, no mercado local do município de Rio Branco, cinco painéis compensados de 15 mm de espessura da espécie sumaúma (*Ceiba pentandra*), dos quais foram retiradas amostras para os ensaios físicos e mecânicos. Portanto, toda a metodologia descrita a seguir, usada para a retirada de amostras e a realização de ensaios, foi aplicada tanto aos novos painéis quanto aos de sumaúma, com a mesma quantidade de amostras.

A confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios físicos consistiu no uso de serra circular, paquímetro, esquadrejadeira e lixadeira, segundo as recomendações das seguintes normas:

- NBR 9484 (ABNT, 1986) – Determinação do Teor de Umidade: foram confeccionados 12 corpos de prova de cada um dos cinco painéis de *G. weberbaueri* e sumaúma, destinados às amostras dos ensaios físicos, com dimensões de 75 mm x 25 mm e espessura de 14,5 mm. O comprimento da amostra é definido pelo sentido perpendicular às fibras das lâminas externas dos painéis. Neste ensaio, a importância das dimensões está ligada à necessidade de que o peso seco do corpo de prova não seja inferior a 10 g, podendo-se adotar qualquer dimensão que atenda a essa especificação da norma.
- NBR 9486 (ABNT, 1986c) – Determinação da Absorção de Água: foram confeccionados 12 corpos de prova com dimensões de 75 mm x 25 mm, como especificadas em norma, e espessura de 14,5 mm que foi a espessura média dos painéis.
- NBR 9535 (ABNT 1986e) – Determinação do Inchamento: foram retiradas, de cada painel dos ensaios físicos, 12 amostras com dimensões de 60 mm de comprimento e 10mm de largura. Neste caso, embora a espessura recomendada pela norma fosse de 10mm, utilizamos a espessura total dos painéis (14,5 mm) para não desconsiderar uma das lâminas.
- NBR 9485 (ABNT, 1986b) – Determinação da Massa Específica Aparente – para o ensaio de massa específica aparente confeccionou-se doze amostras com dimensões de 100 mm x 50 mm x 14,5 mm de cada um dos painéis.

Para a confecção de corpos de prova dos ensaios mecânicos, usou-se serpa circular, plaina, esquadrejadeira, lixadeira, paquímetro e trena. Para cada um dos cinco painéis destinados aos ensaios mecânicos de *G. weberbaueri* e sumaúma, foram retiradas três amostras por ensaio, de acordo com as especificações das seguintes normas:

- NBR 9533 (ABNT, 1986d) – Determinação da Resistência à Flexão Estática Paralela e Perpendicular: foram confeccionados três corpos de prova com dimensões de 41,25 cm x 7,5 cm x 14,5 mm, com comprimento na direção paralela às fibras das lâminas externas, e três corpos de prova com dimensões de 41,25 cm x 7,5 cm x 14,5 mm, com comprimento na direção perpendicular às fibras das lâminas externas.
- NBR - ISO 12466-1 (ABNT, 2006) – Qualidade de Colagem: foram confeccionados, de cada painel, três corpos de prova com dimensões de 7,5 cm x 2,5 cm x 14,5 mm, com comprimento na direção paralela às fibras das lâminas externas.

No total, foram produzidos 45 corpos de prova para ensaios mecânicos dos painéis compensados de bambu *Guadua weberbaueri*, bem como 45 corpos de prova dos painéis de sumaúma.

ENSAIOS FÍSICOS - Essa etapa da pesquisa teve como objetivo identificar os fatores que tornam o material viável para uso, considerando questões como densidade, conteúdo de umidade e absorção de água e estabilidade dimensional. Toda a metodologia aplicada aos novos painéis foi repetida nos painéis de samaúma. Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre.

Ensaio para determinação do teor de umidade - Realizado segundo a norma NBR 9484 (ABNT, 1986), esse ensaio determinou a massa de água contida no compensado, expressa como uma porcentagem da massa seca. Foram ensaiados 60 corpos de prova, sendo 12 amostras para cada painel.

Ensaio para determinação da massa específica aparente - Adotou-se para esse ensaio a norma NBR 9485 (ABNT, 1986b), de modo a determinar a razão entre a massa do corpo de prova (expressa em gramas) e o seu volume (expresso em centímetros cúbicos), determinados na mesma condição de umidade. Foram ensaiados 60 corpos de prova, sendo doze amostras para cada painel.

Ensaio para determinação da absorção de água - Realizou-se segundo a norma NBR 9486 (ABNT, 1986c). No entanto, tendo em vista que, na colagem dos painéis de bambu, foi utilizado adesivo que não apresenta resistência à umidade, o procedimento do ensaio foi interrompido durante o processo de saturação das amostras, pois o adesivo diluiu e as amostras se desfizeram, impossibilitando posteriores medições e até mesmo sua identificação.

Ensaio para determinação do Inchamento - Foi aplicado a 60 amostras, seguindo os procedimentos da norma NBR 9535 (ABNT, 1986e). Porém, assim como no ensaio de absorção de água, esse ensaio possui uma etapa em que as amostras devem permanecer na água para saturação. Por isso, o ensaio com as amostras dos painéis de bambu também foi inviabilizado, sendo possível somente o ensaio das 60 amostras do compensado de sumaúma.

ENSAIOS MECÂNICOS - Para avaliar as propriedades mecânicas dos painéis compensados de bambu, foram ensaiadas as 45 amostras de cinco painéis. Para se ter parâmetro de comparação dos resultados, também foram ensaiadas 45 amostras do compensado comercial, produzido com madeira da espécie sumaúma. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Madeiras do Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário (Cetemm/Senai), utilizando uma máquina universal de ensaios modelo EMIC com capacidade de 98066,5N.

Determinação da resistência à flexão estática paralela - Para esse ensaio, adotou-se a NBR 9533 (ABNT, 1986d), sendo ensaiadas três amostras de cada painel de bambu, com dimensões de 41,25 cm x 7,5 cm x 1,45 cm e comprimento na direção paralela às fibras das lâminas externas. A mesma quantidade de amostras, nas mesmas dimensões, foi adotada para a caracterização de painéis de sumaúma. Os resultados foram gerados em forma de gráficos e relatório no momento do teste pelo equipamento de ensaios, que é computadorizado.

As variáveis de interesse nesse ensaio foram o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura. Os dados foram tabulados em *software* Excel e, após análise estatística dos valores individuais das amostras, foi apresentada a média das variáveis para ambos os compósitos (painel de bambu e painel de sumaúma).

Determinação da resistência à flexão estática perpendicular - Nessa etapa também foi adotada a NBR 9533 (ABNT, 1986d), sendo ensaiadas três amostras

de cada painel de bambu, com dimensões de 41,25 cm x 7,5 cm x 14,5 mm e comprimento na direção perpendicular às fibras das lâminas externas. Para painéis de sumaúma, a amostragem foi a mesma. Os resultados foram gerados em forma de gráficos e relatório no momento do teste pela máquina de ensaio.

Determinação da resistência ao cisalhamento na linha de cola - Esse ensaio buscou avaliar a resistência da colagem, assim como sua qualidade, seguindo as diretrizes da NBR ISO 12466 – 1:2012 (ABNT, 2006). Foram ensaiadas três amostras de cada um dos cinco painéis de bambu e três amostras de cada um dos cinco painéis de sumaúma. Os dados do ensaio para ambos os materiais foram tabulados no *software* Excel e posteriormente analisados com o *software* Assistat. Também foram apresentados gráficos incluindo dados da resistência na linha de cola das amostras, sendo que a variável de interesse, nesse caso, foi a máxima tensão de ruptura.

ANÁLISE DOS DADOS - Utilizou-se o *software* Microsoft Excel para tabulação dos dados e aplicação de fórmulas descritas nas normas dos ensaios físicos. O método de análise estatística foi o de Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) e a estatística descritiva dos dados foi realizada com ajuda do *software* Assistat V. 7.7 Beta. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, aplicou-se o teste t-Student no nível de 5% de probabilidade para comparação entre as médias, o que foi feito para cada um dos ensaios com painéis de bambu e painéis de sumaúma.

Antes da realização da análise estatística, foi aplicado o teste para verificar a normalidade dos dados. Nas situações em que os dados não apresentaram normalidade (distribuição não normal), optou-se por aplicar a estatística não paramétrica por meio do teste de Mann-Whitney-Wilcoxon⁴ para duas amostras.

⁴ O teste de Mann-Whitney-Wilcoxon (ou teste M-W-W) é um teste não paramétrico alternativo ao teste t-Student para comparar as médias de duas amostras independentes. O único pressuposto exigido para a aplicação do teste M-W-W é que as duas amostras sejam independentes e aleatórias, e que as variáveis em análise sejam numéricas.

Resultados e discussão

AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE - Os resultados da estatística descritiva dos dados obtidos com o ensaio de teor de umidade são apresentados na tabela 1, a partir da qual se pode observar a média geral do teor de umidade para cada material associada ao desvio padrão e ao seu coeficiente de variação, caracterizando a dispersão dos dados em termos relativos à média.

Tabela 1. Estatística do teor de umidade de painéis de bambu em relação aos de sumaúma

Estatística	Painel sumaúma	Painel bambu
	Teor de umidade (%)	Teor de umidade (%)
Máxima	12.19	14.42
Mínimo	10.06	7.33
Média	10.94 b	13.72 a
Desvio padrão	0.54411	0.87532
Variância	0.29113	0.75341
C.V. (%)	4.97342	6.38157
Nº de amostras	60	60

C.V.(%) = coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente

Teor de umidade dos painéis compensados de bambu, que obteve média de 13,72%, foi estatisticamente superior ao teor de umidade de painéis compensados feitos com sumaúma, com media de 10,94%. Os valores se aproximam daqueles encontrados na literatura para materiais semelhantes e painéis de bambu – Morais (2008), por exemplo, encontrou valores de teor de umidade de 12,54% em painéis compensados de *Pinus* sp. produzidos com resina poliuretana bicomponente.

AVALIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE - Os resultados obtidos com o ensaio de massa específica aparente são apresentados na tabela 2, em que, a partir da estatística descritiva, pode-se observar a média geral para cada material, associada ao seu coeficiente de variação e desvio padrão.

Tabela 2. Estatística dos dados da massa específica aparente de painéis de bambu e painéis de sumaúma

Estatística	Painel sumaúma	Painel bambu
	Massa específica (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
Máxima	0,46	0,69
Mínimo	0,63	0,56
Média	0,57 b	0,63 a
Desvio padrão	0,05557	0,02513
Variância	0,00309	0,00063
C.V. (%)	9,77403	4,01539
Nº de amostras	60	60

C.V.(%) = coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente

A média obtida para os painéis feitos com bambu (0,63 g/cm³) foi superior à massa específica de painéis de sumaúma (0,57 g/cm³), diferenciando-se estatisticamente. Esses valores estão em consonância com os valores descritos na literatura especializada sobre painéis compensados, como o trabalho de Silva (2010), que encontrou valores médios de 0,58 g/cm³ a 0,67 g/cm³ para painéis de *Pinus taeda* confeccionados com diferentes tipos de adesivos.

AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA - No ensaio de absorção de água, uma das etapas necessita que se realize a saturação das amostras por um período de 24 horas. Para o ensaio com painéis de sumaúma não ocorreram problemas, no entanto, para os painéis de bambu, não foi possível concluir o ensaio, pois, como descrito na metodologia, o adesivo utilizado foi PVAc, que não possui resistência a umidade. Dessa forma, as amostras dos painéis de bambu se desfizeram durante a saturação, não sendo possível obter suas dimensões após a saturação para realização dos cálculos.

Os resultados de absorção de água das amostras de painéis de sumaúma estão descritos na tabela 3. O valor médio (76,84%) encontrado para os painéis testemunhas é inferior aos parâmetros descritos por Ferreira (2004). O autor encontrou, para painéis de *Pinus taeda* com ureia formaldeído puro, o valor de absorção de água de 106%; com ureia formaldeído mais 10% de tanino, 117,99%; com ureia formaldeído mais 20% de tanino, 107,23%; e com tanino puro, 135,02%.

Tabela 3. Estatística descritiva dos dados de absorção de água

Estatística	Painel sumaúma	Painel bambu
	Absorção de água (%)	Absorção de água
Máxima	113,71	X
Mínimo	50,29	X
Média	76,84	X
Desvio padrão	17,46032	X
Variância	304,86284	X
Coefficiente de variação (%)	22,72211	X
Nº de dados	60	X

AValiação DO INChAMENTO - Assim como o ensaio de absorção de água, o ensaio de inchamento também demanda uma etapa de saturação das amostras. Novamente, as amostras dos painéis de bambu não resistiram. Os dados apresentados na tabela 4, referentes às amostras de painéis de sumaúma, mostram a porcentagem de inchamento (I) calculada a partir dos resultados de recuperação de espessura (R) e inchamento mais recuperação de espessura (IR), como apresentado na tabela 5. Mesmo entre painéis de mesmo material, houve uma diferença entre as porcentagens de inchamento, sendo a máxima porcentagem de 6,1% para o painel 1 e a mínima de 3,92% para o painel 5.

Tabela 4. Resultados obtidos com a estatística descritiva dos dados do ensaio de inchamento com amostras dos painéis de sumaúma

Estatística	Painel sumaúma	Painel bambu
	Inchamento (%)	Inchamento (%)
Máxima	6,08	X
Mínimo	3,92	X
Média	4,93	X
Desvio padrão	0,78720	X
Variância	0,61968	X
Coefficiente de variação	15,95682	X
Nº de dados	5 painéis (40 amostras)	5 painéis (40 amostras)

Tabela 5. Médias de recuperação de espessura, inchamento mais recuperação de espessura e inchamento dos painéis de sumaúma

Painel	INCHAMENTO		
	R (%)	IR (%)	I (%)
P-1	1,78	7,87	6,08
P-2	2,63	7,78	5,16
P-3	2,10	6,95	4,85
P-4	1,49	6,15	4,66
P-5	2,40	6,32	3,92

AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DE RUPTURA NA FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA

- Na tabela 6, são apresentados os resultados obtidos com a estatística descritiva dos dados de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) no ensaio de flexão estática paralela às fibras das lâminas externas de painéis de sumaúma e painéis de bambu *Guadua weberbaueri*. O módulo de elasticidade é a razão entre a tensão e a deformação na direção da carga aplicada, sendo máxima a tensão que o material suporta sem sofrer deformação permanente. Já o módulo de ruptura é o valor máximo da tensão de tração ou de compressão nas fibras externas do corpo de prova.

Tabela 6. Estatística descritiva do módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão paralela de painéis de sumaúma e painéis de bambu

Estatística	Painel sumaúma		Painel bambu	
	Flexão Paralela		Flexão Paralela	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Máxima	38,25	4934,31	60,22	10501,04
Mínimo	19,52	2762,14	42,59	8543,14
Média	25,94 B*	3735,29 b**	51,47 A*	9522,09 a**
Desvio padrão	4,67936	704,08363	6,58799	684,86377
Variância	21,89644	462684,83519	43,40164	469038,38043
Coef. de variação (%)	18,04	18,85	12,80	7,30
Nº de dados	15		15	

C.V(%) = coeficiente de variação

*Comparação de médias do MOR. Médias seguidas de mesma letra (caixa alta) não diferem estatisticamente.

** Comparação de médias do MOE. Médias seguidas de mesma letra (caixa baixa) não diferem estatisticamente.

Ao se analisar os resultados de módulo de ruptura, nota-se que os painéis de bambu apresentaram média de 51,47 Megapascal (MPa), enquanto painéis de sumaúma apresentaram média de 25,94 MPa. Em termos percentuais, o MOR de painéis de bambu foi 98,42% superior ao MOR de painéis compensados de sumaúma.

Iwakiri e colaboradores (2001), ao avaliarem o módulo de ruptura na flexão paralela de painéis compensados de *Pinus taeda*, encontraram a média de 57,28 MPa, valor superior ao encontrado para ambos os materiais avaliados neste estudo. Já Ferreira (2004), utilizando adesivo fenol-formaldeído puro, fenol-formaldeído mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valor de MOR paralelo de 34,35 MPa, 32,57 MPa e 23,69 MPa – todos inferiores ao módulo de ruptura obtido para painéis de bambu avaliados neste estudo. Por fim, Morais (2008), utilizando adesivo poliuretano bicomponente, obteve compensados que apresentaram MOR paralelo de 46 MPa, valor também inferior ao MOR paralelo de painéis de bambu *Guadua weberbaueri*. Vale notar que o bambu, diferentemente da madeira, é formado por um aglomerado de fibras dispostas de forma paralela entre si, o que confere maior resistência ao material.

Quanto ao módulo de elasticidade, como apresentado no quadro da análise descritiva dos dados, podemos observar que o valor médio obtido para as amostras provenientes dos painéis compensados de *Guadua weberbaueri* foi de 9522 MPa, enquanto o valor médio dos painéis de sumaúma foi de 3735 Mpa – em termos percentuais, 154,92%, inferior ao resultado obtido para os painéis de bambu.

Jaeger e Ziger (2007) encontraram, para painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii/Pinus taeda*, valores médios de módulo de elasticidade na flexão paralela de 9845 MPa e 10043 MPa, respectivamente. Esses valores estão próximos aos obtidos neste estudo para os painéis de bambu e se mostram muito superiores aos resultados obtidos com o ensaio dos painéis de sumaúma (3735 MPa). No entanto, deve-se levar em consideração a diferença de materiais que compõem os painéis citados como comparação – o tipo de madeira e a porosidade desta, assim como o tipo de adesivo utilizado, influenciam nos resultados.

AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DE RUPTURA NA FLEXÃO ESTÁTICA PERPENDICULAR - Na tabela 7, são apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados quanto aos módulos de ruptura e de elasticidade na flexão perpendicular às fibras das lâminas externas dos painéis em estudo.

Tabela 7. Estatística descritiva do módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão perpendicular de painéis de bambu e painéis de sumaúma

Estatística	Painel sumaúma		Painel bambu	
	Flexão perpendicular		Flexão perpendicular	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Máxima	67,27	7619,47	15,63	881,54
Mínimo	25,11	4938,83	10,80	581,11
Média	44,56 A*	6161,26 a**	12,84 B*	738,56 b**
Desvio padrão	14,80349	733,64835	1,56043	107,49344
Variância	219,14318	538239,90365	2,43495	11554,83950
Coef. de variação (%)	33,22	11,91	12,16	14,56
Nº de dados	15		15	

C.V(%) = coeficiente de variação

*Comparação de médias do MOR. Médias seguidas de mesma letra (caixa alta) não diferem estatisticamente.

** Comparação de médias do MOE. Médias seguidas de mesma letra (caixa baixa) não diferem estatisticamente.

Nota-se que os valores de módulo de ruptura e de elasticidade dos painéis de bambu foram inferiores aos obtidos para os painéis de sumaúma – em relação ao módulo de ruptura, por exemplo, os painéis feitos com sumaúma apresentaram uma média de 44 MPa, 247% superior, ou quase 3,5 vezes mais elevada, que o módulo de ruptura dos painéis feitos com bambu, cuja média foi de 12 MPa. Essa diferença se justifica pela forma como os painéis de bambu foram manufaturados – foram utilizadas apenas três lâminas, sendo uma única lâmina transversal às lâminas externas. Ressalta-se ainda o fato de que essas lâminas são compostas de taliscas coladas lado a lado – dessa forma, houve um esforço de flexão na face tangencial paralela às fibras do bambu, com grande quantidade de lâminas de cola, o que fez dessa a superfície a de menor resistência. Já os painéis de sumaúma eram compostos de sete lâminas bem mais finas que as de bambu, sendo três delas perpendiculares às lâminas externas, o que conferiu maior resistência ao material.

Morais (2008), utilizando adesivo poliuretano bicomponente, obteve compensados de *Pinus* sp. que apresentaram MOR perpendicular de 14 MPa, portanto menor do que o obtido neste estudo com compensados de sumaúma e pouco maior que o módulo de ruptura dos painéis de bambu avaliados, que foi de 12 MPa. Já Ferreira (2004), utilizando adesivo fenol formaldeído puro, fenol formaldeído mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valor de MOR perpendicular igual a 9 MPa, 8 MPa e 5 Mpa, respectivamente – todos

menores que os obtidos neste estudo, tanto para os painéis de bambu quanto para os painéis de sumaúma.

Quanto ao módulo de elasticidade, nota-se que o resultado obtido com os painéis de sumaúma (6161 MPa) foi extremamente superior ao dos painéis de bambu (738 MPa). Iwakiri e colegas (2000) obtiveram valores entre 3392 MPa e 7745 MPa para o módulo de elasticidade na flexão perpendicular de painéis compensados estruturais de *Pinus elliottii*, valores próximos aos resultados obtidos com os painéis de sumaúma e muito superiores aos resultados dos painéis de bambu.

Quando submetidos ao esforço perpendicular, os painéis de bambu apresentam baixa resistência se comparados a painéis feitos de madeira, uma diferença justificada pela forma como foram feitos os painéis de bambu – o processo demandou colagem de pequenas peças (taliscas), de modo a formar muitas linhas de cola na seção em que foi exercida a carga durante o ensaio. Soma-se a esse fator a forma de disposição das fibras das taliscas, que estão paralelas às linhas de cola, sendo esta a seção de menor resistência mecânica do bambu.

AValiação da Resistência na Linha de Cola - A estatística descritiva dos dados de resistência ao cisalhamento na linha de cola dos painéis é apresentada na tabela 8. Nota-se que a diferença entre os valores obtidos para painéis de bambu e sumaúma não foi significativa. Ferreira (2004), utilizando adesivo fenol-formaldeído puro, fenol-formaldeído mais 10% de tanino e tanino puro em painéis compensados de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, obteve valores de resistência da cola ao esforço de cisalhamento de 3,06 MPa, 2,05 MPa e 1,74 MPa, valores próximos aos obtidos nesse estudo.

Tabela 8. Estatística descritiva dos dados quanto à tensão de ruptura de painéis compensados de sumaúma e painéis de bambu

Estatística	Painel bambu	Painel sumaúma
	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)
Máxima	2,74	3,76
Mínimo	1,4	0,72
Média	2,04 a	1,93 a
Desvio padrão	0,38409	0,90486
Variância	0,14753	0,81876
Coefficiente de variação (%)	18,84	46,95
Nº de dados	15	15

C.V(%) = coeficiente de variação

* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente.

Conclusões

1. As propriedades físico-mecânicas dos painéis de bambu nativo, quando comparadas às de painéis de madeira, demonstram viabilidade de uso para as aplicações sugeridas (forros e divisórias), tendo em vista que são aplicações internas livres de intempéries.

2 A resistência mecânica na flexão paralela às fibras de painéis de bambu se mostrou superior à de painéis de madeira. No entanto, identificou-se que os painéis de bambu, quando submetidos a esforço de flexão perpendicular, apresentam baixa resistência.

3 A qualidade da colagem dos painéis de bambu avaliada por meio do cisalhamento na linha de cola se mostrou satisfatória em relação ao painel de madeira, apresentando valores estatisticamente iguais.

4. O bambu possui índices de resistência mais elevados que a madeira, quando considerado o esforço paralelo, e menor resistência quando considerado o esforço perpendicular. Com base nessa observação, pode-se indicar o uso do bambu para as mesmas aplicações que hoje se tem para painéis de madeira, atentando-se, no entanto, ao tipo de esforço a que o produto vai ser submetido.

5. Por fim, destaca-se neste ponto que o objetivo do experimento foi identificar a viabilidade de uso do material para forros e divisórias com base nos resultados dos ensaios, o que de fato foi comprovado. Já questões como a viabilidade de produção em escala, bem como aplicações que não sejam as descritas no texto, não foram abordadas no presente trabalho.

Agradecimentos

À Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, pelo apoio e desenvolvimento de estudos envolvendo espécies de bambus;

A toda a equipe do Laboratório de Tecnologia da Madeira da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (Claudiane Beatriz, Francisco dos Santos, Marília Gabriela), pelo auxílio na execução do trabalho, em especial a Antônio Bezerra pela grande amizade, apoio e paciência;

Ao Centro de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário, por meio dos amigos Renato Rocha e Tânia Guimarães, pela disponibilidade do laboratório e equipamento de ensaio;

Ao grande amigo e empresário George Dobré, por ceder o espaço e equipamentos de sua marcenaria IIBA Móveis para confecção dos corpos de prova.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9484: chapas de madeira compensada: determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9485: chapas de madeira compensada: determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 1986b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9486: chapas de madeira compensada: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 1986c.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9533: chapas de madeira compensada: determinação da resistência à flexão estática**. Rio de Janeiro, 1986d.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9535: chapas de madeira compensada: determinação do inchamento**. Rio de Janeiro, 1986e.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12466-1:2006: chapas de madeira compensada – Qualidade de colagem**. Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTMENT OF FOREST RESEARCH AND SURVEY, KATHAMANDU, NEPAL - DFRS. **Market Development of Bamboo and Rattan Products with Potential (MDBRPP) Project**. Department of Forest Research and Survey, Babarmahal, Kathmandu January 2011. 66p. Disponível em: <http://www.inbar.int/sites/default/files/resources/review_of_design.pdf>. Acesso em 20 fev.2014.



- EUROPEAN STANDARD. **EN 204-01: classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications**. Brussels, 2001.
- FERREIRA, E.S. Utilização dos polifenóis da casca de pinus para produção de adesivos para compensados. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica (RJ), 2004. 101p.
- FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE – RELATÓRIO TÉCNICO – 07: **Estudos de bambu**. FUNTAC. Rio Branco – Acre, out. 1990.
- GANAPATHY, P.M.; HUAN-MING, Z.; ZOOLAGUD, S.S. **Bamboo panel boards: a state of the art review**. Beijing, 2002. Disponível em: <http://www.inbar.int/publication/txt/INBAR_Technical_Report_No12.htm>. Acesso em 14 jan. 2014.
- GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering. Third Cib Rilem Symposium on Materials for Low Income Housing**. México City, 1989, p. 526-536.
- IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v.6, n.2, p.019-024, 2000.
- IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p.71-77, 2001.
- JAEGER, P.; ZIGER, M. Avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii/Pinus taeda*. **Cerne**, v.13, n.3, p. 329-338, jul/set 2007.
- LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. In: **Simposio Internacional Guadua**, 2004. Pereira. Anais... Pereira, 2004. CD-Rom.
- MOIZÉS, F.A. Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de *design* em Bauru, São Paulo. 116 f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2007.
- MORAIS, R.D.V. Produção e caracterização físico-mecânica do painel de compensado de *Pinus* sp. produzido com resina poliuretana bi-componente. 74f. Dissertação, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus Experimental de Itapeva. Itapeva (SP), 2008.
- OSTAPIV, F.; SALAMON, C.; GONCALVES, M.T.T. Cursos tecnológicos de bambu *Guadua* no Acre – Perspectivas sustentáveis e inovadoras. **Athena** (Curitiba), v.10, p.27-38, jan./jun. 2008.
- PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. 2ª edição. Bauru: Canal 6 Editora, 2008.
- PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente** (Edge Glued Panels – EGP). Curitiba: UFPR, 2010.
- SILVA, B.C. da. **Avaliação da qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de taninos de pinus oocarpa e fenol-formaldeído**. 23 f.TCC. Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.
- TONELLO, K.C.; COTTA, M.K.; ALVES, R.R.; RIBEIRO, C. F. A.; POLLI, H.Q. O destaque econômico do setor florestal brasileiro. In: **III Seminário Internacional Ciência e Tecnologia na América**. Campinas (SP): Unicamp, 2006.

Potencial de produção sustentável a partir de bambus brasileiros: energia, biocombustíveis e matérias-primas



*Aline Lopes e Lima⁽¹⁾, Regina Tomoko Shirasuna⁽²⁾,
Laidy Esperanza Hernandez Mena⁽³⁾, Daniel Leon Lipschits⁽⁴⁾,
Araí Augusta Bernárdez Pécora⁽³⁾ e Waldir Antonio Bizzo⁽³⁾*

⁽¹⁾ Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Rua dos Flamboyants, 155 - Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo - Campinas/ SP, Brasil.
E-mail: allbio03@gmail.com

⁽²⁾ Instituto de Botânica de São Paulo. Av. Miguel Stéfano, 3687 - Água Funda - São Paulo/SP, Brasil.
E-mail:regina.shirasuna@hotmail.com

⁽³⁾ Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Rua Mendeleev, 200 - Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo - Campinas/ SP, Brasil.
E-mails: bizzo@fem.unicamp.br, laidyh@fem.unicamp.br, arai@fem.unicamp.br

⁽⁴⁾ Fundação Biosfera (Biosfera Foundation). Gouden Boaijum 13 D, 8621CV Heeg, Friesland, The Netherlands. E-mail: lipschits@programabiosfera.com

Resumo – O Brasil tem grande potencial para desenvolver sistemas produtivos que favoreçam a conversão da biomassa em energia, biocombustíveis e matérias-primas industriais. O país, referência internacional em bioenergia, detém 15,7% das espécies mundiais de bambus. Este artigo avalia as diversas características dos bambus nativos brasileiros, em especial suas possibilidades bioenergéticas. A pesquisa investiga a sua aplicabilidade como matéria-prima para a geração de energia elétrica, para a produção de biocombustíveis e por meio de processos térmicos e biotecnológicos de biomateriais de alto valor agregado. Além disso, o estudo revisa o nível de conhecimento sobre os bambus nativos e busca responder as seguintes perguntas: como o bambu pode ser usado para ajudar a sociedade e a economia? Como pode auxiliar na conservação da biodiversidade e na recuperação ecossistêmica? Quais são as tecnologias aplicáveis à conversão e à caracterização físico-química das biomassas primárias e residuais de espécies asiáticas e americanas?

O artigo ainda apresenta uma síntese do conhecimento existente sobre bambus brasileiros, destacando vantagens, limitações e lacunas nas áreas envolvidas, além de apontar os desafios tecnológicos existentes na utilização bioenergética dos bambus nativos brasileiros.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: TAQUARA, BAMBUSEAE, PIRÓLISE, BIORREFINARIA, BIOECONOMIA.

Brazilian Native Bamboo Sustainable Production Potential: Bioenergy, Biofuel and Biomaterials

Abstract – *Brazil has a great potential to develop productive systems for the diversification and complementarity of bioenergy through biomass conversion into energy, biofuels and industrial materials from native resources. Brazil, as an international reference in bioenergy, is home to 15,7% of all bamboo species world-wide, to be researched for their suitability in developing integrated socioeconomic systems for conserving biodiversity and the integrity of ecosystems. This chapter identifies the physical characteristics of bamboo and evaluates its applicability as a feedstock for bioenergy generation, biofuel, and high added-value biomaterials through thermochemical and biotechnological conversion methods. Moreover, the currently existing knowledge based on native bamboo has been reviewed, in the search of answers to questions such as: how can bamboo be used to help society and economy? How can it support biodiversity conservation and ecosystem recovery? Which technologies can be used in the conversion and physicochemical characterization of primary and residual biomass from Asian and American bamboo species? We here present a synthesis of the existing knowledge on Brazilian bamboo, highlighting the advantages, limitations and gaps in understanding related areas. We also point out technological challenges in the potentiality of Brazilian native bamboo as a bioenergy and biomaterial feedstock.*

INDEX TERMS: TAQUARA, BAMBUSEAE, PYROLYSIS, BIOREFINERY, BAMBOO-BASED-ECONOMY.

Introdução

A pesquisa do bambu no Brasil pode ser definida como fragmentada e difusa. Essas características geram um campo de trabalho díspar, sem princípios orientadores, sem denominadores comuns ou objetivos comuns. Ainda que pouco organizado, o campo do estudo do bambu tende a ser concentrado ao redor de três polos principais: o “polo da moda”, no qual o bambu se torna matéria-prima para bens de consumo de *design* moderno e arrojado e projetos arquitetônicos complexos e elaborados; o “polo social” do artesanato, arquitetura e utilitário do homem rural; o “polo commodities”, que inclui a utilização não visível, ou não tangível, do material.

No entanto, no contexto do desenvolvimento de uma rota viável para a industrialização adequada do bambu no Brasil, é necessária uma abordagem integrativa, partindo de modelos de pesquisas direcionadas à articulação entre os aspectos técnicos, sociais, econômicos e ecológicos, criando uma base mais abrangente e de efeito sistêmico para conciliar esses três polos. É necessário, portanto, integrar os enfoques, em especial o exercido pelo grande apelo do *design* nas utilizações sofisticadas do bambu e o provocado pelo bambu como catalisador social.

A proposta é focar no estabelecimento de uma estrutura que contenha as condições favoráveis para o intercruzamento das aplicações de base biológica, ou seja, combinar o potencial produtivo e regenerativo dos bambus lenhosos nativos com a obtenção de bioenergia, biocombustíveis e biomateriais. O uso do bambu nesse contexto de aplicações integradas pode ser um catalisador da cadeia produtiva e de um processo viável de industrialização. É importante que estudos sobre a viabilidade em diferentes esferas (sociais, econômicas e ecológicas) sejam realizados caso a caso, a depender do contexto específico das regiões do país. Também é importante frisar que somente com a implantação do bambu lenhoso nativo no contexto da recuperação ambiental e dos ecossistemas é que se poderá garantir o volume necessário da planta para aplicações em matéria-prima industrial.

Pode-se usar a indústria petroquímica como analogia. Essa indústria, apesar de possuir um modelo ambientalmente insustentável, funciona de forma mais integrada, com um modelo de otimização no qual nenhum elemento, nenhum composto passível de algum aproveitamento, é esquecido ou perdido ao longo da cadeia produtiva. O circuito de aproveitamento do petróleo está entrelaçado com todos os aspectos e fragmentos das refinarias e das estruturas da indústria e, ainda além, de todo o ambiente construído ao nosso redor. No entanto, para se atingir o nível de supremacia ampla conferida a



apenas uma matéria-prima, no caso, o petróleo, certa lógica deve ser seguida. Destacam-se abaixo alguns fatos:

a) a utilização do petróleo como um vetor energético, o aumento do potencial desse vetor pelo beneficiamento da sua forma bruta e a busca por aplicações dos derivados em amplo espectro (destacando-se aqui o “polo de commodities”) levaram, por exemplo, aos plásticos e a toda uma diversidade de insumos;

b) os plásticos permitiram a produção em massa de bens de consumo, democratizando o acesso a itens anteriormente reservados às classes sociais mais altas (“polo social”).

c) o desenvolvimento da petroquímica de alta tecnologia com base em insumos, compósitos, processos de produção próprios, entre outras ações, levou a uma quebra de paradigma tecnológico, permitindo aos engenheiros e projetistas canalizarem sua criatividade e imaginação para a produção de novos produtos, como eletrônicos, gadgets e similares (“polo da moda”).

No caso da indústria do petróleo, no entanto, há limites evidentes à sustentabilidade. Por sua vez, os bambus nativos têm potencial para dar base a um arranjo industrial igualmente coeso e estruturado, sem, contudo, negligenciar o investimento em um sistema renovável biológico, arranjado em compasso aos potenciais próprios da natureza brasileira, a mais biodiversa do mundo.

Este artigo pretende mostrar como pesquisas integradas podem contribuir para a industrialização do bambu, sobretudo o bambu nativo brasileiro, com suas características comuns a outros bambus, e têm grande chance de ser um agente de promoção social, econômica, ambiental e de consumo sustentável no país.

BAMBUS LENHOSOS NATIVOS: OCORRÊNCIA E ASPECTOS BOTÂNICOS - A subfamília Bambusoideae, uma das 12 da família Poaceae (Soreng et al., 2015), é constituída pelos bambus e reúne três clados: as tribos Olyreae (bambus herbáceos), Bambuseae (bambus lignificados de clima tropical e subtropical) e Arundinarieae (bambus lignificados de clima temperado) (Sungkaew et al., 2009; Soreng et al., 2015). Está representada no mundo por 120 gêneros e 1.641 espécies (Soreng et al., 2015). Essas espécies vivem em todos os continentes, com exceção do continente europeu e antártico, que não possuem espécies nativas. O Brasil está inserido na região neotropical, onde se concentram mais de 540 espécies dessa subfamília, equivalendo a quase 33% de toda a diversidade mundial de bambus (Soderstrom et al., 1988; Judziewicz et al., 1999). Somente no Brasil, há 35 gêneros e 258 espécies nativas, represen-

tando 15,7% de todas as espécies de bambus do mundo, sendo 175 espécies (10,7%) endêmicas (Filgueiras et al., 2015). Desse total, 165 espécies de bambus são lenhosos e 93 herbáceos, estando a grande maioria concentrada nos biomas da mata atlântica (64,3%), da Amazônia (34,9%), do cerrado (12,8%), da caatinga (4,3%) e do Pantanal (2,3%) (Filgueiras et al., 2015).

As 165 espécies lenhosas nativas no Brasil representam 10% das espécies mundiais que podem apresentar algum potencial para a produção sustentável.

A grande maioria dessas espécies lenhosas nativas é típica de ambiente florestal, exceto poucas espécies heliófilas, que são nativas de formações específicas como o cerrado e os campos de altitude, ecossistemas extremamente ameaçados pelos desmatamentos e formações de pastagens. Importante frisar que algumas espécies de bambus dessas formações estão ameaçadas de extinção.

Vale ressaltar uma espécie de grande porte: a *Guadua paraguayana* Döll. Ela é nativa e apresenta um grande potencial para produção de energia e biocombustível. Essa espécie aparece na mata atlântica, na floresta estacional semidecidual, em matas ciliares e nas florestas ombrófilas mistas aluviais dos estados da Bahia, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo (Filgueiras et al., 2015). A *Guadua paraguayana* Döll apresenta como peculiaridade o colmo totalmente sólido, como as espécies do gênero *Chusquea*. Galvão et al. (2009) estudaram a autoecologia dessa espécie e descreveram seu crescimento como vigoroso, oportunista e agressivo, embora apresente rizoma paquimorfo com pescoço curto. Descrevem que a fase de brotação dura em média quatro meses e ocorre entre a primavera e o ver. Relatam ainda que as touceiras têm em média 2,79 m², com 11 colmos/m². Os colmos têm comprimento médio de 13 metros, com DAP médio de 4,25 centímetros.

Trabalhos que contemplam estudos ecológicos sobre as espécies de bambus nativos, são poucos (Costa et al., 2012; Castro et al., 2013) e não incluem, por exemplo, estudos dedicados ao manejo, à domesticação e à produção de mudas de bambus nativos. Comprova-se, portanto, a necessidade urgente de incentivo a estudos e experimentos com embasamento científico sobre o manejo e a domesticação de espécies nativas, inclusive com a elaboração de protocolos. Além disso, é fundamental lançar mão dos estudos taxonômicos e ecológicos e direcionar a sua utilização em programas agroflorestais e de restauração de ambientes degradados, contribuindo para a proteção das espécies ameaçadas e em estados de conservação mais vulneráveis (Martinelli & Moraes, 2013).

DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO INTEGRADO À CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO ECOSISTEMA

- Apesar do cenário de conhecimento ainda difuso e disperso, é possível verificar que muitas espécies de bambu, além de fazerem parte dos ecossistemas florestais naturais, desempenham papéis ecológicos, ambientais e sociais específicos e de grande importância. Proporcionam, por exemplo, a melhoria das condições edáficas e hídricas, e proteção ambiental dos seus ecossistemas de origem (Rao, 2004; Gagnon et al., 2007; Marchesini et al., 2009). Além disso, pelo oferecimento de alimentos, abrigos e sítios de reprodução para a fauna nativa, desempenham papéis ecológicos fundamentais (Lozovei, 2001; Haemig, 2006; Bellotto et al., 2009). Ainda contribuem de forma significativa nos ciclos de carbono e nitrogênio ecossistêmicos (Budke et al., 2010; Santos et al., 2012; Vieira et al., 2011). Em uma perspectiva socioeconômica direta, diversas espécies lenhosas já servem como fonte alternativa de bens e renda para comunidades, que as utilizam como matéria-prima para habitação, construções diversas, artesanatos, utilitários e biomassa para queima (Judziewicz et al., 1999; Oliveira & Hanazaki, 2011). Rockwell e Kainer (2015) identificaram o *Guadua* do Acre como estratégico para o desenvolvimento de sistemas econômicos sustentáveis das comunidades locais.

Diante do amparo da Lei Federal nº 12.484, que estabelece a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e Cultivo do Bambu (PNMCB), o potencial de aproveitamento de espécies nativas de bambus para diversas aplicações deve ser mais bem reconhecido. Em especial, os usos inovadores relacionados à diversidade biológica e cultural do país. Ainda: esse potencial pode ser consolidado com o desenvolvimento de cadeias produtivas integradas objetivando múltiplas aplicações de conhecimento e tecnologia e favorecendo arranjos socioeconômicos descentralizados, apropriados a cada demanda e contexto, sejam eles locais ou regionais. Esses arranjos podem – já nas fases iniciais e considerando os cenários e condições desejáveis – incluir o planejamento de estratégias e ações que visem atender aos critérios e protocolos de análise ambiental dos ciclos de vida, de certificações e de regulações aplicáveis a produtos florestais não madeireiros. Critérios internacionais, como o da Comissão Europeia para biomassa sólida e o das certificadoras de produtos florestais, podem, em um primeiro momento, assegurar a qualidade socioambiental dos sistemas produtivos e beneficiar a conservação dos bambus nativos, dando, inclusive, maior confiança ao mercado consumidor (Daza et al., 2013).

Iniciativas bem-sucedidas que envolvem a certificação do aproveitamento de bambus nativos estão aumentando em diversos países. Na América La-

tina, a Colômbia tem exemplos crescentes de acreditação de seus sistemas produtivos de bambus no Forest Stewardship Council (FSC) – que possui critérios ambientais e sociais relativos à biodiversidade e à produção sustentável de biomassa – e na Netherlands Technical Agreement 8080 (NTA 8080). O país tem também certificação no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEEs) (Daza et al., 2013, 2015). As estratégias para integrar conservação e desenvolvimento, de forma atenta aos potenciais e necessidades da região, também podem ser compatíveis com programas de compensação socioambiental e de pagamentos de serviços ecossistêmicos e ambientais. Essas estratégias podem servir de base, por exemplo, para a obtenção de unidades de créditos de sustentabilidade, como o do programa Brasil Mata Viva. Há ainda sistemas de crédito internacionais, como o bamboo carbon credits, uma metodologia desenvolvida pelo International Network for Bamboo and Rattan (Inbar) e o Center for International Forestry Research (CIFOR). Esta última iniciativa foi desenvolvida para consolidar os bambus no mercado voluntário de carbono, dentro de um plano amplo de mitigação das alterações climáticas globais – a justificativa é que, por ser um grupo fundamental para o sequestro de dióxido de carbono, o bambu apresenta benefícios ecossistêmicos e ambientais que ultrapassam os limites locais (Daza, 2013, 2015).

Quanto à produção de eletricidade, Daza et al. (2013) verificaram que o uso de combustível sólido à base de bambu *Guadua* torrificado reduz as emissões dos GEEs em 70% em comparação à energia obtida por meio do carvão mineral (198 g CO₂ eq/MJ versus 26 g CO₂ eq/MJ). Nem mesmo considerou, em sua análise, a economia do carbono acumulado nas áreas produtivas e os benefícios adicionais advindos da recuperação de ecossistemas e de outros elementos da análise do ciclo de vida associados a maior sustentabilidade dos sistemas produtivos da *Guadua* na Colômbia (Daza et al., 2013). Espécies de *Guadua* são frequentemente mencionadas por seus benefícios ambientais em termos de sequestro de carbono (estimado em 17 t/ha por ano ao longo do seu ciclo de vida na Colômbia), proteção e contenção de solos contra lixiviação e participação no aumento da disponibilidade de água (Rao, 2004).

Como visto, bambus nativos são componentes heterogêneos da biodiversidade regional e, como as demais espécies de plantas, sua ocorrência dependerá da espécie, do ecossistema e da exposição a fatores de estresse ambientais (Judziewicz et al., 1999). Torna-se necessário que atores, como condições edáficas e hídricas, interações micro e macroecológicas, fixação de nitrogênio, parâmetros complexos do desempenho ecofisiológico da comunidade vegetal e estrutura de populações em médio e longo prazo sejam

considerados para a melhor compreensão dos ecossistemas. É importante ir além da aparente simplificação frequentemente observada na concepção de florestas “com” ou “sem” bambu; além do que o discurso generalizado do bambu como um grupo homogêneo deve ser reexaminado.

Este artigo visa reforçar que os bambus nativos são componentes significativos da biodiversidade brasileira, ocorrendo naturalmente nas fisionomias dos biomas nacionais, e, como anteriormente mencionado, com estados de conservação variáveis, o que deve ser cuidadosamente levado em consideração. Estudos que considerem o papel das diversas espécies e variedades – em seus próprios ecossistemas – devem ser priorizados. Algumas sugestões de temas de estudos usando o bambu: desenvolvimento socioeconômico, resgate de cultura e tradição local, conservação da biodiversidade, restauração florestal e recuperação de áreas e paisagens degradadas.

As funções que bambus nativos podem desempenhar em seu ecossistema devem ser levantadas para que se favoreça a elaboração de planos de manejo sustentáveis. Além disso, o maior conhecimento das características dos bambus ajudaria na inclusão de determinadas espécies em projetos de enriquecimento da biodiversidade (Bellotto et al., 2009), na recuperação de solos e na restauração dos ecossistemas nativos, como Shirasuna et al. (2013) menciona para a espécie *Merostachys kleinii* Send. e outras gramíneas nativas no que diz respeito às áreas afetadas pelas obras do Rodoanel em São Paulo. Mesmo o intenso crescimento e a plasticidade que são observados em algumas espécies dominantes podem ser estrategicamente utilizados para recuperação de áreas intensamente degradadas, com solos expostos, erodidos e com formação de sulcos, voçorocas e/ou em declives – ou seja, espécies de bambus também podem auxiliar nos cenários de grande distúrbio e instabilidade, difíceis de recuperar por métodos convencionais. Todas essas aplicações podem favorecer produtores rurais, comunidades rurais e urbanas e segmentos da indústria de base, como o da mineração, complementando as ações para a recuperação de áreas degradadas.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE BAMBUS COMO MATÉRIA-PRIMA COMBUSTÍVEL - O interesse por bambus para utilização como recurso bioenergético exige a determinação de suas características físicas, químicas e termoquímicas (Daza et al., 2015), pois essas particularidades fornecem informações essenciais para avaliar seu potencial em aplicações de geração de energia (combustão, produção de bambu torreficado e bio-óleo) e produção de compostos com maior valor agregado (biomateriais, compostos fenólicos e outros compostos químicos com aldeídos e cetonas).

A caracterização de biomassas, de uma forma geral, inclui análises físicas, químicas e termoquímicas. As análises físicas (tamanho, densidade aparente da partícula, esfericidade da partícula, densidade do leito empacotado naturalmente e densidade do leito batido) são fundamentais na estimativa de custos com o transporte da matéria-prima, com o projeto de reatores como combustores, gaseificadores e reatores de pirólise e com a determinação das condições operacionais do processo de conversão termoquímica (velocidades do gás, tamanho de partícula e dimensionamento do reator).

As análises químicas (análise elementar, análise imediata, análise da composição estrutural, análise da composição das cinzas e ponto de fusão das cinzas) fornecem informações úteis para a escolha do processo de conversão a ser aplicado, incluindo os teores de carbono, nitrogênio, oxigênio, hidrogênio, enxofre, umidade, material volátil, cinzas, carbono fixo, celulose, hemicelulose e lignina presentes na amostra de bambu.

As análises termoquímicas (poder calorífico, análise termogravimétrica, termogravimétrica derivativa, calorimetria diferencial e análise térmica diferencial) são técnicas utilizadas para caracterizar termicamente um combustível e fornecem informações sobre o conteúdo energético, temperaturas de decomposição térmica e parâmetros cinéticos de reações químicas de processos de termoconversão (Bahng et al., 2009).

Bambus, assim como biomassas em geral, apresentam composições estrutural e química variáveis, além de elevados teores de umidade, sendo necessárias técnicas de pré-tratamento como moagem e secagem antes de serem submetidos a processos de conversão. No entanto, o uso de bambu como matéria-prima apresenta características favoráveis em relação a outras biomassas lignocelulósicas – isso ocorre pela alta produtividade e densidade de biomassa dessa planta (tabela 1). Uma das consequências é a redução do custo de produção e de transporte. Além disso, a produção do bambu necessita de quantidades reduzidas de fertilizante e não requer uso de sementes (Daza et al., 2015; Scurlock, 2000).

Tabela 1. Densidade e rendimentos de biomassas lignocelulósicas

Matéria prima	Colmo de bambu	Bagaço de cana	Madeira
Densidade [kg.m ⁻³]	500-700	150-200	200-500
Rendimento* [ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹]	10-40	7-10	10-20

* BASE SECA
 FONTE: DAZA ET AL., 2015

Verifica-se também que as alternativas para a utilização de bambus em aplicações bioenergéticas dependem geralmente das propriedades de seu colmo (parte integrante da planta), que apresenta uma estrutura tenaz e fibrosa. Em média, o colmo é composto por cerca de 50% de células parênquimas, 40% de fibras e 8% de vasos condutores (Lybeer, 2006). Os principais constituintes estruturais do bambu, assim como de outras biomassas, são celulose, hemicelulose, lignina, extrativos orgânicos e minerais inorgânicos (tabela 2). A composição estrutural das três espécies de bambus apresentados é semelhante à da madeira de eucalipto, destacando-se o maior conteúdo de celulose em relação ao bagaço e palha da cana-de-açúcar. Ressalta-se que a composição do bambu depende das condições do solo, da idade da planta e da parte da planta analisada, além, claro, de sua espécie. Pesquisas mostraram que o tecido do colmo amadurece geralmente em um ano, período em que a proporção de lignina e hidratos de carbono sofre alterações (Liese, 1998).

Tabela 2. Composição estrutural de algumas biomassas incluindo três espécies de bambu

Espécie	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Extrativos (%)	Referência
Bagaço de cana	35,3	22,9	24,0	14,7	Bizzo et al. (2014)
Palha de cana	36,7	20,5	28,6	11,5	Bizzo et al. (2014)
Eucalipto	48	13	27	n.d.	He et al. (2014)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	47,5	15,4	26,3	4,9	Hernandez-Mena et al. (2014)
<i>Guadua amplexifolia</i>	48	37	5	n.d.	Gonzalez et al. (2014)
<i>Bambusa vulgaris</i>	45	21	27	5	Moreira (2012)

N.D. = NÃO DISPONÍVEL

Propriedades químicas e termoquímicas como poder calorífico, composição elementar imediata e composição das cinzas são apresentadas na tabela 3. Essa tabela permite a comparação entre as propriedades das quatro espécies de bambus nativos das Américas e as propriedades do bagaço de cana, da madeira e do carvão mineral típico do Brasil, utilizado na geração de energia elétrica.

As biomassas oferecem características importantes, como matérias-primas em processos de combustão, pirólise ou gaseificação, uma vez que apresentam teor de voláteis elevado (acima de 70%) e poder calorífico próximo ao do carvão mineral brasileiro. No entanto, deve ser notado que, em relação ao carvão mineral do município de Candiota (RS), as biomassas apresentam meno-

res conteúdos de carbono fixo e maior conteúdo de oxigênio, além de maior conteúdo de potássio e menor conteúdo de alumínio nas cinzas. Esses fatores afetam a eficiência dos processos e a composição dos produtos gerados.

Tabela 3. Propriedades de um carvão mineral e biomassas incluindo quatro espécies de bambu

Propriedade	Carvão Candiota (Pereira et al., 2003)	Bagaço de cana (Bizzo et al., 2014)	Madeira (Fryda et al., 2014)	<i>Guadua angustifolia</i> (Fryda et al., 2014)	<i>Guadua sarcoarpa</i> (Kleinlein, 2010)	<i>Chusquea subulata</i> (Fryda et al., 2014)	<i>Guadua amplexifolia</i> (Daza et al., 2015)
PCS [MJ/kg]	19,3	17,7	20	18,8	18,8	18,6	18,8
Análise Imediata (% base seca)							
Umidade (%)	15,4	-	7,1	9	7,74	11	-
Carbono Fixo (%)	35	6,9	17,8	19,9	18,0	18,9	-
Voláteis (%)	27,1	90,03	80	75	78,63	74	74
Cinzas (%)	37,9	2,9	1,4	5,1	3,4	6,9	4,9
Análise Elementar (% base seca)							
C (%)	52	42,6	50	47	45,0	46	47
H (%)	3,0	5,9	6,1	5,9	5,9	5,4	5,9
O (%)	n.d.	50,9	44,2	43	44,5	42	42
N (%)	0,9	0,6	0,4	0,3	3,9	0,8	0,7
Composição de cinzas (% base seca)							
SiO ₂	76,4	43,0	28,2	53,5	n.d.	62,89	35
Al ₂ O ₃	15,4	7	8,9	0,04	n.d.	0,057	0,064
Fe ₂ O ₃	1,9	5,2	3,8	0,04	n.d.	0,10	0,067
CaO	2,3	12,8	26,5	0,7	n.d.	0,8	1,39
MnO ₂	n.d.	0,53	1,03	0,006	n.d.	0,02	0,014
TiO ₂	0,80	1,53	1,58	0,0016	n.d.	0,0024	0,0016
MgO	0,76	6,70	3,31	0,35	n.d.	0,58	0,63
Na ₂ O	<0,20	0,2	2,54	0,008	n.d.	0,0,25	0,04
K ₂ O	1,6	14,14	11,71	23,38	n.d.	12,49	51
P ₂ O ₅	n.d.	5,82	2,76	2,16	n.d.	9,18	7,7
Zn	n.d.	n.d.	0,24	0,011	n.d.	0,046	0,057
Cl	n.d.	n.d.	1,52	2,73	n.d.	0,10	2,26
Sr	n.d.	n.d.	0,10	0,0039	n.d.	0,076	0,005
Ba	n.d.	n.d.	0,28	0,0049	n.d.	0,0043	0,0026

Os resultados mostrados na tabela 3 indicam que as diferentes espécies de bambu, assim como o eucalipto, apresentam maior teor de carbono fixo e menor teor de voláteis em relação ao bagaço de cana, o que indica, em comparação a esse bagaço, maior potencial de aplicação de bambu e madeira para a produção de carvão vegetal. Os resultados apresentados por Arruda e Quirino (2008) mostram que as propriedades das espécies de bambu listadas na Tabela 3 são semelhantes às de algumas espécies nativas, como *Guadua magna* Londoño e Filg. – PCS = 18,6 MJ/kg; teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo da ordem de 10%, 80%, 3,5% e 15 %, respectivamente – e *G. weberbaueri* Pilg. – PCS = 18,7 MJ/kg.

Entre as espécies de bambu apresentadas na tabela 3, a espécie *Chusquea subulata* L. G. Clark apresenta o maior teor de cinzas, característica não desejável devido a problemas oriundos do fenômeno de sinterização das cinzas nos processos de combustão e gaseificação. Esse fenômeno provoca efeitos negativos, entre os quais a diminuição da eficiência térmica do processo, o aumento dos custos operacionais em função de paradas para manutenção, os problemas de corrosão e erosão e a redução da vida útil de caldeiras (Jacome, 2014). O elevado conteúdo de metais alcalinos, como o potássio, presente nas biomassas (como demonstra a tabela 3), é fato que requer especial atenção em processos de combustão, já que esses metais, juntamente com o sódio, incrementam o risco de formação de aglomerados, incrustações e escória no interior de caldeiras (Daza et al., 2015). Bambus normalmente apresentam teores de sílica superiores ao de madeiras em geral, característica que chama a atenção, uma vez que, na presença de compostos alcalinos (óxidos de potássio ou sódio) e sob altas temperaturas, são gerados compostos eutéticos de baixa temperatura de fusão; devido à formação de aglomerados e incrustações, esse fato prejudica a operação de combustores (Jacome, 2014).

TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À CONVERSÃO DA BIOMASSA PROVENIENTE DO BAMBU - Biomassas provenientes de bambus e resíduos de bambu apresentam potencial para aproveitamento energético e valorização química mediante a aplicação de diversos processos termoquímicos ou bioquímico. Esses processos estão representados na figura 1 (Bridgwater, 2012).

Os processos de conversão termoquímicos envolvem as tecnologias de combustão pirólise, torrefação, liquefação e gaseificação. Para produzir combustíveis derivados e produtos químicos – geralmente em forma de líquidos, gases não condensáveis e sólidos – essas técnicas promovem a degradação térmica da biomassa (Bridgwater, 2003; Demirbas et al., 2009).

Na conversão bioquímica, as moléculas da biomassa são divididas em mo-

léculas menores pela ação de bactérias ou enzimas. As principais rotas são a hidrólise seguida de fermentação, que converte açúcar em etanol, e a digestão anaeróbia que produz biogás (Basu, 2010).

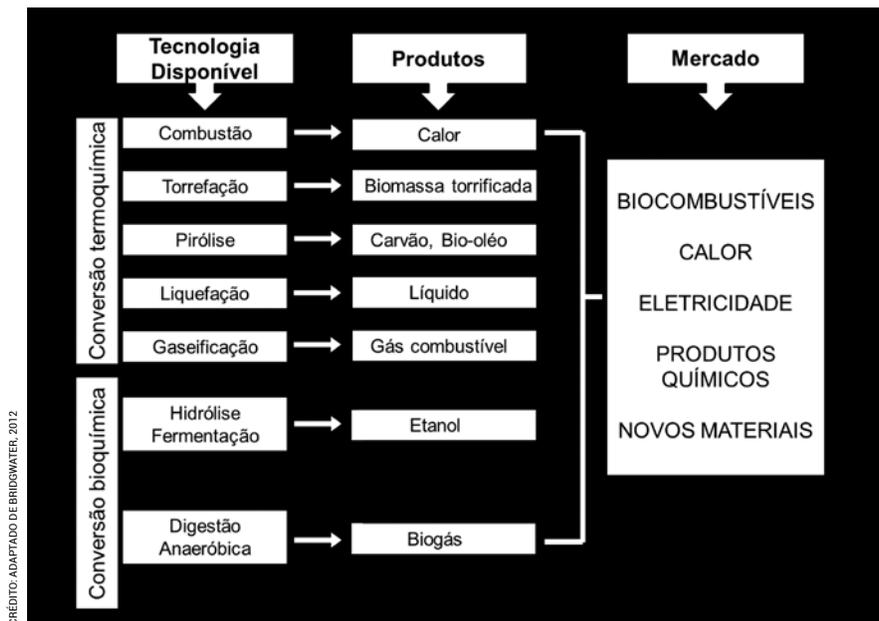


Figura 1. Processos de conversão de biomassa, produtos e aplicações no mercado

Abaixo, alguns processos apresentados na figura 1 são brevemente descritos. Também são apresentados trabalhos envolvendo o bambu como matéria-prima para esses processos. Um dos objetivos, como já afirmado neste texto, é fornecer subsídios para a ampliação da aplicação de bambus na indústria.

COMBUSTÃO - O processo de combustão envolve uma série de reações simultâneas nas quais o carbono é oxidado para dióxido de carbono e o hidrogênio é oxidado para água. Entre as principais tecnologias de combustão de biomassa na indústria estão a combustão de sólidos pulverizados, a combustão em leito fixo (grelha) e a combustão em leito fluidizado borbulhante ou circulante (Basu, 2006; VanLoo & Koppejan, 2008). A tecnologia de combustão mais adequada pode variar de acordo com a escala econômica do processo, com a complexidade do sistema, com os custos relativos à preparação da biomassa para alimentação no combustor e com as necessidades de limpeza dos gases liberados no processo.

A combustão de biomassas é uma tecnologia comercialmente difundida no mundo. A biomassa pode ser convertida em calor e eletricidade pela combustão direta da matéria-prima em caldeiras, pela combustão de produtos obtidos em outros processos de termoconversão (carvão vegetal, bio-óleo ou biogás) ou pela combinação de biomassa e carvão mineral em processos de co-combustão (Bridgwater et al., 2009).

A utilização de bambus no Brasil em processos de combustão é ainda limitada; no entanto, algumas aplicações têm despertado interesse, como a aplicação da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl em sistemas de cogeração visando a produção de energia elétrica pela indústria de fabricação de papel e celulose no Brasil. Apesar disso, aspectos econômicos e de modelos adotados no manejo de cultivo da espécie precisam ser melhorados para viabilizar o processo (Guarnetti, 2013).

Considerando que em processos de combustão são preferíveis combustíveis de alta qualidade (elevada densidade energética), outros estudos se focaram na caracterização energética do bambu, almejando aplicações tanto na combustão direta da biomassa *in natura* quanto na combustão do carvão de bambu (bambu torreficado). Entre as espécies que foram caracterizadas com fins energéticos podem ser listadas as seguintes: *Chusquea subulata* (Daza et al., 2015), *Guadua magna* (Arruda & Quirino, 2008), *G. angustifolia* Kunth (Brito et al., 1987; Daza et al., 2015), *G. amplexifolia* J. Presl (Daza et al., 2015), espécies nativas ou de gêneros nativos das Américas, espécies asiáticas como *Dendrocalamus giganteus* Munro (Hernandez-Mena et al., 2014), *D. strictus* (Roxb.) Nees., *Bambusa tuldoides* Munro, *B. vulgaris*, *B. vulgaris* var. *vittata* (Brito et al., 1987; Daza et al., 2015).

Os resultados obtidos nesses trabalhos indicam que não existe grande variação entre os valores de poder calorífico das diferentes espécies de bambu. É válido observar, no entanto, que valores de poder calorífico superior – PCS – em torno de 18 MJ/kg foram relatados. Esses números são comparáveis aos de outras biomassas utilizadas em processos de combustão, como madeiras de eucalipto. Os estudos também mostraram que o teor de cinzas presente no bambu variou bastante entre as espécies: foram relatados teores de cinzas na biomassa entre 3% e 12% (base seca).

A adição de biomassas em plantas de combustão de carvão mineral pulverizado tem sido explorada nos últimos anos diante da crescente necessidade de redução de emissões atmosféricas poluentes. Segundo Daza et al (2015) e Fryda et al. (2014), a aplicação de bambus em processos de co-combustão com carvão mineral pulverizado se refere a bambus termicamente tratados em processos de torrefação.



TORREFAÇÃO - A torrefação consiste na degradação térmica de um combustível na ausência de oxigênio e sob temperaturas entre 250 °C e 300 °C. O processo é utilizado como pré-tratamento da biomassa a ser usada posteriormente em processos de combustão. As reações envolvidas no processo de degradação térmica fazem com que a biomassa perca sua estrutura de fibra tenaz pela ruptura da hemicelulose (e, em menor grau, da celulose), de modo que o material se torna frágil e fácil de moer (Koppejan et al., 2012). O subproduto líquido do processo, representado pelos gases condensáveis, também pode ser aproveitado, como comentado por Rousset e Macedo (2013).

Rousset et al. (2011) estudaram as principais propriedades energéticas do bambu asiático *Bambusa vulgaris* quando submetido ao processo de torrefação em diferentes temperaturas. Nesse estudo, verificaram que o bambu sofre alterações em termos de perda de massa e aumento do poder calorífico. Os autores constataram também uma redução no teor de voláteis e um aumento no teor de carbono fixo. Além disso, o bambu torreficado obtido apresentou propriedades semelhantes às de madeiras de eucaliptos torreficadas.

O bambu torreficado apresenta melhores características do que bambu *in natura* para aplicações em combustão, pois tem maior densidade energética e poder calorífico (Liu et al., 2014; Hernandez-Mena et al., 2014; Brito et al., 1987). No entanto, foram observados altos teores de sódio e potássio (metais alcalinos) nas cinzas desses produtos, fato que pode levar à obtenção de incrustações, escórias e corrosão quando utilizados em processos de combustão. Visando reduzir o teor de metais alcalinos no bambu torreficado, o Centro de Pesquisa de Pesquisa de Energia da Holanda (em inglês, Energy Research Center of the Netherlands – ECN) desenvolveu a tecnologia de torrefação úmida (em inglês, torwash) aplicada a bambus. Nesse processo, a biomassa *in natura* é torreficada entre temperaturas de 140 °C e 230 °C num procedimento único em água pressurizada. Como resultado, contaminantes solúveis em água (sais) são arrastados pela água e componentes dissolvidos como íons de K e Cl podem ser removidos, melhorando a qualidade dos produtos (Daza et al., 2015; Fryda et al., 2014). Uma análise comparativa entre bambus da espécie *Guadua angustifolia* Kunth torreficados a seco e em ambiente úmido é apresentado por Daza et al. (2015).

PIRÓLISE - A pirólise é um processo de degradação térmica do combustível na ausência de atmosfera oxidante e temperaturas entre 300 °C e 600 °C. O procedimento gera um produto sólido (carvão), um produto líquido (fração oleosa) e um produto gasoso (Bridgwater, 2003). As características desses produtos dependem principalmente do tipo de pirólise, das condições ope-



racionais e das propriedades do combustível. A pirólise pode ser lenta ou rápida de acordo com as condições operacionais. Na pirólise rápida, temperaturas moderadas (aproximadamente 500 °C), altas taxas de aquecimento (de ordem de 1000 °C/s) e tempos de residência curtos (inferiores a 2 segundos) favorecem a produção de líquidos. A pirólise lenta é uma técnica que favorece principalmente a produção de carvão. Caracteriza-se por baixas taxas de aquecimento (ao redor de 10 °C/min) e longos tempos de residência do material sólido no reator (15 a 60 minutos); geralmente ocorre em temperaturas moderadas, inferiores às adotadas na pirólise rápida (Bridgwater, 2003; Bahng et al., 2009).

A pirólise lenta da espécie *Dendrocalamus giganteus* Munro em reator mecanicamente agitado foi estudada por Hernandez-Mena (2014). A caracterização do carvão produzido mostrou que a temperatura de operação tem grande influência sobre o rendimento e a composição dos produtos da pirólise. Cabe ressaltar que o bambu estudado tem potencial para ser utilizado como matéria-prima em processos de pirólise e, por consequência, na produção de carvão para aplicações energéticas ou agrícolas (remediação do solo) e de bio-óleo – esta última, uma fonte valiosa de produtos químicos como compostos fenólicos e cetonas.

Apesar de inúmeras pesquisas visando à produção de bio-óleo de pirólise de biomassas (incluindo espécies de bambu), as características do bio-óleo produzido não permitem sua utilização imediata como fonte energética: padronização e melhoramento da qualidade são etapas necessárias.

O bio-óleo *in natura* produzido por pirólise rápida tem elevado teor de água (15% a 25%), elevada viscosidade, baixo pH e é instável quimicamente (Oasmaa & Peacocke, 2001).

Processos para o melhoramento da qualidade e características do bio-óleo têm sido estudados a fim de obter compostos hidrocarbonados com características semelhantes à gasolina, ao óleo diesel e ao querosene. A intenção é usar o bio-óleo como combustível em transporte terrestre, transporte marítimo e na aviação (Elliot, 2007). A grande vantagem da transformação de bio-óleo em hidrocarbonetos é o aproveitamento de estruturas de armazenamento, distribuição e utilização de derivados de petróleo já existentes.

O carvão de bambu também poderá ser usado na geração de energia. Assim como o carvão mineral, o biocarvão pode substituir combustível fóssil na geração de energia térmica ou elétrica, isoladamente ou em co-combustão com o fóssil (Roberts et al., 2010). Essa opção seria interessante para usinas termoeletricas ou na produção de cimento para a construção de civil, um processo que envolve o consumo de grandes quantidades de carvão mineral



como combustível. A aplicação do carvão vegetal nesses processos apresenta grande potencial de sequestro de carbono. No entanto, ainda há muitas barreiras técnicas e, principalmente, econômicas para o seu uso em larga escala (Meyer et al., 2011).

HIDRÓLISE E FERMENTAÇÃO - O bambu como biomassa lignocelulósica pode ser usado como matéria-prima na produção de etanol. Além de apresentar benefícios ambientais e alto rendimento de biomassa em função de seu rápido crescimento, a planta ainda tem composição química desejável para produção de etanol. Esse processo ocorre por meio da hidrólise da holocelulose, com posterior fermentação dos açúcares resultantes. É importante destacar que algumas espécies de bambu apresentam altos conteúdos de celulose e lignina e baixos conteúdos de hemicelulose. Como pode ser observado na tabela 4, sua composição consiste principalmente de glucano, xilanas e lignina ácida insolúvel. Essas características e a semelhança entre seu conteúdo lignocelulósico e com outras biomassas como bagaços de cana indicam que o bambu tem um alto teor de precursores de açúcares. O conteúdo elevado de lignina contribui para aumentar o poder calorífico da biomassa. O conteúdo de celulose observado por meio da medida do teor de glucanas sugere que o bambu é candidato a matéria-prima para processos que convertem celulose em combustíveis, entre os quais o etanol e outros produtos de maior valor agregado conforme discutido em He et al. (2014).

Tabela 4. Análises bioquímicas de diferentes espécies de bambu

Espécie		<i>Bambusa vulgaris</i> var.	<i>Dendrocalamus strictus</i>	<i>G. angustifolia</i>	<i>G. amplexifolia</i> Preslt
Extrativos	Total (%)	18,02	11,97	12,23	21,21
Polissacarídeos	Arabinanas	0,69	0,67	0,66	0,59
	Xilanas	16,62	15,34	16,38	13,47
	Mananas	0	0	0	0
	Galactanas	0,16	0,14	0,23	0,24
	Glucanas	36,04	36,60	41,29	32,16
Lignina	Insolúvel	21,22	24,80	20,27	19,17
	Solúvel	0,87	0,82	0,90	1,09
Cinzas	(% base seca)	2,91	5,69	4,04	4,43

FONTE: DAZA ET AL., 2015

Kuttiraja et al. (2013) desenvolveram um estudo utilizando resíduos de bambu da espécie *Dendrocalamus* sp. visando à produção de bioetanol. Nesse estudo, a biomassa foi pré-tratada, hidrolisada por meio de hidrólise enzimática e, posteriormente, fermentada. Os resultados mostraram que a espécie *Dendrocalamus* sp. apresenta potencial para a produção do etanol: foi registrada eficiência global de conversão do bambu em bioetanol de 42,8% em relação ao máximo teórico, com um rendimento previsto de 143,5 litros por tonelada de biomassa seca.

Outros processos de conversão de biomassa em energia e biocombustível podem ser aplicados ao bambu, destacando-se os procedimentos de gaseificação (Sánchez, 2010), de liquefação (Ye et al., 2014) e de digestão anaeróbia (Moraes et al., 2015).

BIORREFINARIAS - Em geral, o bambu obtido na sua forma natural – especialmente na forma de resíduos – pode ser considerado uma matéria-prima sustentável candidata à produção de bioetanol, hidrocarbonetos sintéticos e outros produtos de maior valor agregado a serem gerados em biorrefinarias. As refinarias sugerem processos de transformação mais ecológicos, e a utilização de biomassas apresenta vantagens consideráveis sobre outras fontes de energia não renováveis.

O conceito de biorrefinaria abarca os processos de conversão de biomassas e os equipamentos necessários para isso, além da produção de combustíveis, eletricidade, calor e compostos químicos derivados da biomassa. É, naturalmente, uma alternativa às refinarias de petróleo convencionais.

Na figura 2 é apresentado um esquema de biorrefinaria para bambu proposto por He et al. (2014). Inicialmente, o bambu é submetido a um pré-tratamento de modo a ser reduzido a seus principais componentes (celulose, hemicelulose e lignina). A hemicelulose e materiais celulósicos são enzimaticamente decompostos em açúcares simples, que podem ser metabolizados pelos microrganismos e convertidos em produtos químicos. Para isso ocorrer, é necessário aplicar técnicas como a fermentação – um exemplo é a conversão da xilose em produtos como etanol, xilitol e furfural. Além desses processos, a utilização da lignina, assim como da biomassa *in natura*, em processos de termoconversão permite a obtenção de diversos produtos derivados, que podem ser utilizados para gerar artigos de maior valor econômico.

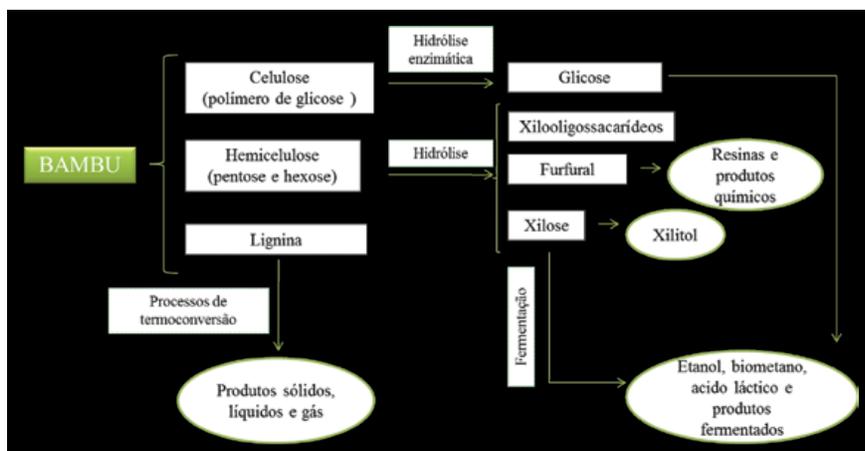


Figura 2. Esquema de biorrefinaria para a utilização de bambu

Conclusões

Quais são as perspectivas e as limitações da bioenergia com base em bambus nativos? O bambu lenhoso nativo se apresenta como espécie de grande potencial para geração de energia no Brasil, seja na geração de energia elétrica ou na produção de biocombustíveis e biomateriais por meio de processos térmicos ou biotecnológicos. Pesquisas sobre métodos e aplicações inovadoras são fundamentais e prioritárias para a consolidação de sistemas bioeconômicos mais conectados ao contexto e à biodiversidade brasileira. Sendo uma biomassa lignocelulósica típica, diversos procedimentos desenvolvidos para biomassas servem, a princípio, ao bambu nativo. No entanto, características que podem ser peculiares ao bambu, como sua estrutura física, rigidez e composição de seus extrativos, devem ser consideradas.

A atenção ao bambu nativo se deve às vantagens ambientais e de sustentabilidade que sua utilização pode proporcionar, seja em pequena ou grande escala. A capacidade de produção de biomassa de bambus nativos é alta, sendo da mesma ordem de grandeza de biomassas tradicionalmente utilizadas, como a cana-de-açúcar e o eucalipto. No entanto, essas culturas energéticas não são nativas do bioma brasileiro, embora sejam adaptadas e produzidas há muito tempo no país. Além disso, tanto a cana-de-açúcar quanto o eucalipto são cultivados por meio de monoculturas. A integração do bambu nativo com outras plantações, nativas ou não, pode trazer bons resultados em relação à sustentabilidade de um sistema bioenergético, minimizando os impactos negativos já conhecidos das monoculturas energéticas.



A versatilidade do bambu nativo é grande, pois, além de matéria-prima energética, há um grande potencial para produção de outros insumos importantes, como o biocarvão e os insumos de aplicação química e farmacêutica. Essa flexibilidade pode garantir sustentabilidade econômica para os produtores, uma vez que o próprio mercado se torna flexível. Alternativamente, a bioenergia abre um mercado para a utilização de resíduos de bambus nativos cultivados para outros fins.

Com a finalidade de consolidar o potencial de utilização do bambu nativo para a produção de insumos químicos e de energias, algumas questões tecnológicas ainda precisam ser superadas. No processo agrícola de produção, principalmente no plantio associado a outras culturas ou intercalado e formando sistemas agroflorestais biodiversos, a metodologia de plantio e cultivo é uma questão a ser desenvolvida e otimizada. Analogamente, o método de colheita também deve ser desenvolvido, seja em sistemas de monocultura ou em sistemas com diferentes espécies associadas. Quando em pequena escala, os processos manuais ou semimecanizados devem ser eficazes; no entanto, em escala de produção compatível com as culturas energéticas mais tradicionais, métodos, equipamentos ou máquinas para colheita devem ser desenvolvidos.

Na transformação do bambu em insumo ou energia, há necessidade de pré-tratamento. Assim, compatibiliza-se a forma física da biomassa aos processos de transferência de calor e massa característicos dos procedimentos térmicos ou biotecnológicos. A operação de redução de tamanho do material, denominada cominuição, é crucial para esses processos, pois aumenta a área interfacial para transferência de massa ou transferência de calor. Contudo, os processos de redução de cominuição consomem energia, o que pode gerar impacto considerável no balanço de eficácia dos sistemas bioenergéticos. A qualidade fibrosa da biomassa do bambu é uma característica que dificulta a redução de tamanho, aumenta o consumo de energia no processo e produz partículas de formas e tamanhos heterogêneos. A propósito, a heterogeneidade de forma também é uma dificuldade para o desenvolvimento de equipamentos de processos térmicos.

Este trabalho se propôs sintetizar e revisar dados sobre o bambu nativo. O artigo considerou também as questões sobre sustentabilidade ambiental. A conclusão a que se chega – levando em consideração todas as discussões propostas – é que o bambu nativo é um promissor vetor de produção energética e de insumos; deve, portanto, continuar a ser pesquisado.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de doutorado a Aline Lopes e Lima e a Laidy Esperanza Hernandez Mena.

Referências

- ARRUDA, L. M.; QUIRINO, W. F. Caracterização energética de bambu (*Guadua Magna*). In: 3º Congresso Internacional de Bioenergia e BIOTech Fair. Curitiba/ PR, Brasil, 2008.
- BAHNG, M.; CALVIN, M.; ROBICHAUD, D.; NIMLOS, M.R. Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: a review. **Analytica Chimica Acta**, v.651, p.117-138, 2009.
- BASU, P. **Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory**. Oxford, Elsevier Academic Press, 2010.
- BASU, P. **Combustion and gasification in fluidized beds**. Taylor & Francis Group, LLC., 2006. 470 p.
- BELLOTTO, A.; VIANI, R. A. G.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Fase 6: inserção de outras formas de vida no processo de restauração. In: RODRIGUES, R. R., BRANCALION, P. H. S., ISERNHAGEN, I. (ogs). Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. **Instituto Bio Atlântica**, São Paulo, p.55-61, 2009.
- BIZZO, W.; LENÇO, P.; CARVALHO, D.; SOTO VEIGA, J. P. The generation of residual biomass during the production of bio-ethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.29, p. 589-603, 2014.
- BRIDGWATER, A. V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. **Chemical Engineering Journal**, v.91, p. 87-102, 2003.
- BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Energy**, v.38, p.68-94, 2012.
- BRIDGWATER, A. V.; HOFBAUER, H.; VAN LOO, S. **Thermal Biomass Conversion**. CPL Press, 2009. 495p.
- BRITO, T. J.; TOMAZZELO FILHO, M.; SALGADO, A. L. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **Revista IPEF**, v.36, p.13-17, 1987.
- BUDKE, J. C.; ALBERTI, M. S.; ZANARDI, C.; BARATTO, C.; ZANIN, E. M. Bamboo dieback and tree regeneration responses in a subtropical forest of South America. **Forest Ecology and Management**, v.260, n. 8, p.1345-1349, 2010.
- CASTRO, W.; SALIMON, C. I.; MEDEIROS, H.; SILVA, I. B.; SILVEIRA, M. Bamboo abundance, edge effects, and tree mortality in a forest fragment in Southwestern Amazonia. **Scientia Agricola**, v.4, n.98, p.159-164, 2013.



- COSTA, S. G.; MORATO, E. F.; SALIMON, C. I. Densidade de bambu e estrutura populacional de duas espécies arbóreas pioneiras em florestas secundárias de diferentes idades em um remanescente florestal, Acre. **Scientia Agricola**, v.40, n.95, p.363-374, 2012.
- DAZA, C. M.; CAMARGO, J.; LONDOÑO, X.; DIAZ-CHAVEZ, R.; HENSEN, A. VERHEGEN, B.; FRYDA, L. Bamboo as an alternative sustainable fuel – a life cycle assessment. Holanda, **ECN Report M 13-016**, jul. 2013.
- DAZA, C. M.; ZWART, R.; CAMARGO, J. C.; DIAZ-CHAVEZ, R.; LONDOÑO, X.; FRYDA, L. E.; JANSEN, A.; PELS, J. R.; KALIVODOVA, J.; AMEZQUITA, M. A.; ARANGO, A.; RODRIGUEZ, A.; SUAREZ, J.; ROSILLO-CALLE, F.; HENSEN, A.; VERGEBEN, B. Torrefied bamboo for the import of sustainable biomass from Colombia. **ECN Report**, Holanda, **ECN-E-15-020**, 2015. 156p.
- DEMIRBAS, M.; MUSTAFA, F.; BALAT, E.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy conversion and management**, v.50, p.1746-1760, 2009.
- ELLIOT, D. C. Historical development in hydroprocessing bio-oils. **Energy Fuels**, v.21, p. 1792-1815, 2007.
- FILGUEIRAS, T. S.; CANTO-DOROW, T. S.; CARVALHO, M. L. S.; DÓREA, M. C.; FERREIRA, F. M.; MOTA, A. C.; OLIVEIRA, R. C. de; OLIVEIRA, R. P.; REIS, P. A.; RODRIGUES, R. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P.; SHIRASUNA, R. T.; SILVA, A. S.; SILVA, C.; VALLS, J. F. M.; VIANA, P. L.; WELKER, C. A. D.; ZANIN, A.; LONGHI-WAGNER, H.M. Poaceae. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB193>>. Acesso em 23 abr. 2015.
- FRYDA, L. E.; DAZA, C. M.; PELS, J. R.; JANSSEN, A.; ZWART, R. W. R. Lab-scale co-firing of virgin and torrefied bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth as a fuel substitute in coal fired power plants. **Biomass and bioenergy**, v.65, p.28-41, 2014.
- GAGNON, P. R.; PLATT, W. J.; MOSER, B. Response of a native bamboo [*Arundinaria gigantea* (Walt.) Muhl.] in a wind-disturbed forest. **Forest Ecology and Management**, v.241, p.288-294, 2007.
- GALVÃO, F.; AUGUSTIN, C. R.; CURCIO, G. R.; DOMANOWSKI, B. P.; KOZERA, C.; SAWCZUK, A. T.; BONNET, A. Autoecologia de *Guadua* aff. paraguayana (Poaceae). **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.58, p.5-16, 2009.
- GOMES, A. J. P.; CRUZ, P. R.; BORGES, L. P. Energy mineral resources: coal and uranium. In: Bizzi, L. A. et al. (eds). **Geology, tectonics and mineral resources of Brazil**. Brasília: CPRM, p. 577-628, 2003.
- GONZALEZ, P. G.; HERNANDEZ-QUIROZ, T.; GARCIA-GONZALEZ, L. The use of experimental design and response surface methodologies for the synthesis of chemically activated carbons produced from bamboo. **Fuel Processing Technology**, v.127, p.133-139, 2014.
- GUARNETTI, R. L. Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: Aspectos técnicos econômicos e ambientais. 2013, 100p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HAEMIG, P. D. Pássaros e mamíferos associados ao bambu da Mata Atlântica. Ecology Online. Sweden, 2006. Disponível em: <<http://www.ecologia.info/bambu.htm>>. Acesso em 09 dez. 2013.
- HE, M.; WANG, J.; QUIN, J.; SHUI, Z.; WO, B.; TAN, F.; PAN, K.; HU, Q.; DAI, L.; TANG, X.; HU, F. Bamboo: a new resource of carbohydrate for biorefinery. **Carbohydrate Polymers**, v.111, p.645-654, 2014.



- HERNANDEZ-MENA, L. E. Estudo experimental da pirólise lenta de Bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro) e caracterização do carvão vegetal. 2014, 110p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- HERNANDEZ-MENA, L. E.; PECORA, A. A.; BERALDO, A. L. Slow pyrolysis of bamboo biomass: analysis of biochar properties. **Chemical Engineering Transactions**, v.37, p.115-120, 2014.
- JACOME, F. D. Caracterização físico-química das cinzas de palha de cana de açúcar através de análises térmicas simultâneas (STA). 2014, 117p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK, L. G.; LONDOÑO, X.; STERN, M. J. **American Bamboos**. Washington DC: Smithsonian, 1999. 392 p.
- KLEINLEIN, W. Caracterização energética de biomassas amazônicas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém, 2010. 63p.
- KOPPEJAN, J.; SOKHANSAN, J. S.; MELIN, S.; MADRALI, S. Status overview of torrefaction technologies. Enschede, IEA Bioenergy Task 32, **Final Report**. Holanda, 2012. 54 p.
- KUTTIRAJA, M.; SINDHU, R.; VARGHESE, P. E.; SANDHYA, S. V.; BINOD, P.; VANI, S.; PANDEY, S.; SUKUMARAN, R. K. Bioethanol production from bamboo (*Dendrocalamus* sp.). **Biomass and Bioenergy**, v.59, p.142-150, 2013.
- LIESE, W. Anatomy and properties of bamboo. Institute of Wood Biology and Wood Preservation of Federal Research Center for Forestry and Forestry Products, Alemanha, 1998. p. 196-208. Disponível em: <www.inbar.int/downloads/inbar_pr_03_1.pdf>. Acesso em abril de 2015.
- LIU, Z.; FEI, B.; JIANG, Z.; LIU, X. Combustion characteristics of bamboo-biochars. **Bioresource Technology**, v.167, p.94-99, 2014.
- LOZOVEI, A. L. Microhabitat de mosquitos (Diptera, Culicidae) em internódios de taquara na Mata Atlântica, Paraná, Brasil. **Iheringia (Sér. Zool.)**, v.90, p.3-13, 2001.
- LYBBER, B. Age-related anatomical aspects of some temperate and tropical bamboo culms (Poaceae: Bambusoideae). Universiteit Gent-Faculteit Wetenschappen, Bélgica, 2006.
- MARCHESINI, V. A.; SALA, O. E.; AUSTIN, A. T. Ecological consequences of a massive flowering event of bamboo (*Chusquea culeou*) in a temperate forest of Patagonia, Argentina. **Journal of Vegetation Science**, v. 40, p.424-432, 2009.
- MARTINELLI, G.; MORAES, A. M. (orgs.). **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Centro Nacional de Conservação da Flora, Jardim Botânico do Rio de Janeiro, RJ, 2013.1102p.
- MEYER, S.; GLASER, B.; QUICKER, P. Technical, economical, and climate-related aspects of biochar production technologies: a literature review. **Environmental Science Technology**, v.45, p.9473-9483, 2011.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, R. P.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; FONSECA G. A. B. **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Boston, Estados Unidos: University of Chicago Press, 2. Edição 2005.
- MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.44, p. 888-903, 2015.

- MOREIRA, A. Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J. C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia. 2012, 56p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília.
- OASMAA, A.; PEACOCKE, C. A guide to physical property characterization of biomass-derived fast pyrolysis oils. **Espoo, Finland, VTT Publications**, v.450, 2001.
- OLIVEIRA, F. C.; HANAZAKI, N. Ethnobotany and ecological perspectives on the management and use of plant species for a traditional fishing trap, southern coast of São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.1783-1792, 2011.
- OLMOS, F. Frutificação de *Chusquea meyeriana* Rupr. (Poaceae, Bambusoideae) e dinâmica populacional de aves granívoras e roedores em área de Mata Atlântica. 1990, 77p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP.
- RAO, R. **Bamboos and their role in ecosystem rehabilitation. Silviculture**. Elsevier: Holanda, p.1011-1017, 2004.
- ROBERTS, K. G.; GLOY, B. A.; JOSEPH, S.; SCOTT, N. R.; LEHMANN, J. Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. **Environmental Science Technology**, v.44, p.827-833, 2010.
- ROCKWELL, C. A.; KAINER, K. A. Local and scientific perspectives on the bamboo-dominated forest in Acre, Brazil: a complementary knowledge base for multiple-use forest management. **International Forestry Review**, v.17, S1, p.51-64, 2015.
- ROUSSET, P.; AGUIAR, C.; LABBÉ, N.; JEAN-MICHEL, E. C. Enhancing the combustible properties of bamboo by torrefaction. **Bioresource Technology**, v.96, p.8225-8231, 2011.
- ROUSSET, P.; MACEDO, E. Pré-tratamento da biomassa para uso energético: A torrefação. In: **Anais IV Escola de Combustão e Congresso da Rede Nacional de Combustão**, Belém-Pará, 24-28 de junho de 2013, 2013.
- SÁNCHEZ, C. G. Tecnologia da Gaseificação de Biomassa. Brasil, **ATOMO**, 2010. 432p.
- SANTOS, S. C., BUDKE, J. C., MULLER, A. Regeneração de espécies arbóreas sob a influência de *Merostachys multiramea* Hack. (Poaceae) em uma floresta subtropical. **Acta Botanica Brasilica**, v.26, n.1, p.218-229, 2012.
- SCURLOCK, J. M. O.; DAYTON, D. C.; HAMES, E. B. Bamboo: an overlooked biomass resource? **Biomass and Energy**, v.19, p.229-244, 2000.
- SHIRASUNA, R. T.; FILGUEIRAS, T. S.; BARBOSA, L. M. Poaceae do Rodoanel Mario Covas, Trecho Sul, São Paulo, SP, Brasil: florística e potencial de uso na restauração de áreas degradadas. **Hoehnea**, v.40, n.3, p.521-536, 2013.
- SODERSTROM, T. R.; JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK, L. G. Distribution patterns in neotropical bamboos. In: Heyer, W. R. e Vanzolini, P. E. (eds). Proceedings of the Neotropical Biotic Distribution Pattern Workshop, 12-16. Rio de Janeiro: **Academia Brasileira de Ciências**, 1988, p.121-157.
- SORENG, R. J.; PETERSON, P. M.; ROMASCHENKO, K.; DAVIDSE, G.; ZULOAGA, F. O.; JUDZIEWICZ, E. J.; FILGUEIRAS, T. S.; DAVIS, J. I.; MORRONE, O. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). **Journal of Systematics and Evolution**, v.53, n.2, p.117-137, 2015.
- SUNGKAEW, S.; STAPLETON, C. M. A.; SALAMIN, N.; HODKINSON, T. R. Non-monophyly of the woody bamboos (Bambuseae: Poaceae): a multi-gene region phylogenetic analysis of Bambusoideae. **Journal Plant Research**, v.122, p.95-108, 2009.



- VAN LOO, S.; KOPPEJAN, J. Handbook of biomass combustion and Co-firing. London, Sterling, VA, Earthscan, 2008. 442p.
- VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; DUARTE-NETO, P. J.; MARTINS, S. C.; VEIGA, L. G.; SCARANELLO, M. A.; PICOLLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; NETO, E. S.; F. A. M.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above and below ground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. **Ecology and Evolution**, v.1, n.3, p.421-434, 2011.
- YE, L.; ZHANG, J.; ZHAO, J.; TU, S. Liquefaction of bamboo shoot shell for the production of polyols. **Bioresource Technology**, v.153, p.147-153, 2014.

Produção de polpa solúvel a partir de bambu

*Larisse Ap. Ribas Batalha⁽¹⁾, Fernando José Borges Gomes⁽²⁾,
Carolina Marangon Jardim⁽³⁾ e Jorge Luiz Colodette⁽¹⁾*

⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, CEP. 36.570-900, Brasil. E-mail: larissee.batalha@ufv.br e colodett@ufv.br

⁽²⁾ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, CEP. 23.897-000, Brasil. E-mail: fjb.gomes@yahoo.com.br

⁽³⁾ Veracel Celulose, Eunápolis, BA, CEP. 48.820-000, Brasil. E-mail: cmjardim@gmail.com

Resumo – Cavacos comerciais de bambu (fragmentos obtidos a partir da picagem do bambu, a fim de se aumentar a sua superfície específica sem, contudo, comprometer o comprimento médio de suas fibras) foram avaliados como matéria-prima para produção de polpa solúvel. Os cavacos de bambu pré-hidrolisados foram submetidos a uma polpação NaOH/AQ. A polpa obtida foi branqueada utilizando a sequência: O-E-D-(EP)-D-P. Foi possível produzir uma polpa solúvel de boa qualidade a partir dos cavacos de bambu, comparada àquela produzida a partir de cavacos de eucalipto, mesmo considerando-se que a composição química dos cavacos de bambu era aparentemente desfavorável (22,4% de lignina; 19,5% de xilanas; 49,3% de celulose; 16,8% de extrativos totais e 1,5% de cinzas). A polpa produzida apresentou alvura de 92,4% e teores de alfa-celulose, xilanas, extrativos e cinzas de 94,9%, 5,1%, 0,041% e 0,13%, respectivamente. A polpa solúvel com essas características é adequada para a fabricação de viscose com vistas à produção de fios de raiona e outros derivados de menor exigência quanto ao teor de alfa-celulose.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: BAMBU, POLPA SOLÚVEL, AUTO-HIDRÓLISE, EXTRAÇÃO ALCALINA



Dissolving pulp production from bamboo

Abstract – Commercial bamboo chips were evaluated as raw material for dissolving pulp production. The chips were auto-hydrolyzed (AH) and subsequently submitted to NaOH-AQ pulping process and bleached to full brightness with the O-E-D-(EP)-D-P sequence. The bamboo chip chemical composition (22.4% lignin, 19.5% xylans, 49.3% cellulose, 16.8% total extractives, and 1.5% ash) was apparently unfavorable; however, high quality dissolving pulp was produced using the aforementioned technologies, even when compared to results obtained with traditional commercial eucalyptus wood chips. The pulp showed high brightness (92.4% ISO) and α -cellulose content (94.9%). Its contents of hemicelluloses, extractives and ash were within acceptable levels for a dissolving pulp aimed at viscose rayon production.

INDEX TERMS: BAMBOO, DISSOLVING PULP, AUTO-HYDROLYSIS, ALKALINE EXTRACTION.

Introdução

Polpas para dissolução ou polpas solúveis são utilizadas para a produção de derivados de celulose tais como: acetato de celulose, nitrato de celulose, viscose, raiona, metilcelulose, carboximetilcelulose (CMC), entre outros (Andrade & Colodette, 2014). O rendimento global da linha de fibras de polpas para dissolução raramente ultrapassa 30-35% e, em comparação com polpa celulósica kraft convencional, os custos de produção são bastante elevados. Essas polpas devem conter um teor de alfa-celulose elevado (95-98%), teor de hemiceluloses relativamente baixo (1-10%) e teor de lignina menor que 0,05% (Christov et al., 1998).

Polpas para dissolução são produzidas a partir do línter de algodão (camada de fibras curtas aderidas à superfície da semente do algodão) por meio do processo de polpação soda, e a partir da madeira, por meio de pré-hidrólise kraft e de processos de polpação sulfito e ácido (Barba et al. 2002; Luo et al., 2014). As polpas de madeira, especialmente as derivadas do processo de sulfito, requerem um passo de remoção de hemicelulose subsequente, o que é geralmente feito por meio da chamada extração alcalina, realizada durante o processo de branqueamento. Os custos correntes elevados de madeira e de línter de algodão combinados com restrições ambientais no processo de



branqueamento (cloro e hipoclorito) causaram um aumento significativo no custo da produção de polpa de dissolução derivada a partir dessas matérias-primas. Assim, avaliar novas fontes de fibra para a obtenção de polpa solúvel é muito adequado.

Nesse contexto, o bambu aparece como uma alternativa. Bambu é o termo comum para designar membros de um determinado grupo taxonômico de grandes gramíneas lenhosas (subfamília Bambusoideae, família *Andropogoneae* = Poaceae). Bambus abrangem 1.250 espécies dentro de 75 gêneros, a maioria das quais possui crescimento relativamente rápido, atingindo um padrão de maturidade dentro de cinco anos, porém florescendo raramente (Scurlock et al., 2000). Como matéria-prima industrial, o bambu tem sido utilizado para produção de amido e de fibras celulósicas para papel. Os brotos de bambu podem ser usados como fonte de alimento e na produção de carvão (Beraldo & Azzini, 2004). Em geral, o teor de alfa-celulose no bambu é de 40-50%, o que é comparável com o conteúdo de alfa-celulose em coníferas (40-52%) e folhosas (38-56%) (Dence, 1992).

A etapa de auto-hidrólise tem sido comercialmente aplicada no chamado processo de polpação pré-hidrólise kraft, que produz polpa solúvel como um produto (Liu et al., 2011). A introdução da etapa de auto-hidrólise antes de qualquer processo de polpação ajuda na produção de polpa com alto conteúdo de alfa-celulose e baixo conteúdo de hemicelulose, resultado da extração ou degradação das hemiceluloses (Behin & Zeyghami, 2009; Andrade & Colodette, 2014).

Recente literatura (Liu et al., 2011) mostra que as hemiceluloses podem ser extraídas do licor proveniente da auto-hidrólise por meio da acidificação e subsequente adição de etanol, possibilitando o uso das hemiceluloses para produção de vários produtos de valor agregado, como biocombustíveis e químicos. O licor negro derivado do processo de polpação pré-hidrólise kraft, contendo 30-34% de lignina, é usualmente queimado para fornecer energia para operações fabris e para recuperação dos produtos químicos utilizados no cozimento (Wallberg et al., 2005). Uma fração da lignina desse licor negro pode ser isolada e usada como material inicial para uma série de produtos, por exemplo, vanilina, fenóis, benzeno, dispersante, emulsificante e agentes quelantes, antioxidantes, pesticidas, fertilizantes, componentes para resinas, dentre outros (Gargulak & Lebo, 2000, Mussato et al., 2007).

No conceito de biorrefinaria, os três principais biopolímeros das matérias-primas lignocelulósicas, isto é, celulose, hemiceluloses e lignina, são convertidos em fontes para produção de biocombustíveis, bioquímicos e biomateriais (Saeed et al., 2012). Nesse contexto, a recuperação de hemiceluloses

luloses e lignina para fins mais nobres na produção de polpa solúvel é uma linha que se adequa ao conceito de biorrefinaria (Luo et al., 2014).

Este estudo teve como objetivo melhorar a eficiência da utilização do bambu na indústria de celulose kraft avaliando a viabilidade do uso do bambu como matéria-prima na produção de polpa solúvel. Os resultados obtidos também são comparados com a tradicional polpa solúvel de eucalipto obtida pelo processo pré-hidrólise kraft.

Material e métodos

CARACTERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS - Amostras de cavacos de bambu foram fornecidas por uma empresa brasileira de celulose e papel localizada na região Nordeste, enquanto os cavacos de eucalipto foram fornecidos por outra empresa brasileira do mesmo setor, baseada na região Sudeste. Os cavacos foram então classificados de acordo com a metodologia proposta pela norma SCAN NC 40:94, secos a 15% de umidade e armazenados para serem utilizados no estudo. A partir dos cavacos selecionados, foi realizada a análise de densidade básica das amostras conforme a norma SCAN CM-46:92. Uma fração dos cavacos de madeira e de bambu foi transformada em serragem, classificada de acordo com a norma TAPPI T257-CM85, seca a um teor de umidade de aproximadamente 10%, e então armazenada em frascos hermeticamente fechados. Para a realização da caracterização química das matérias-primas deste estudo foi utilizada serragem. O teor de extrativos totais, cinzas e ligninas insolúvel e solúvel em ácido, a relação Siringila/Guaiacila (S/G) da lignina e a composição de carboidratos foram medidos de acordo com TAPPI T264 cm-97, TAPPI T211 om-93, Gomide e Demuner (1986), Goldshmidt (1971), Lin e Dence (1992) modificado, e Wallis et al. (1996), respectivamente. Ácidos urônicos totais e grupos de acetila foram medidos de acordo com Scott (1979) e Solar (1987). O teor de sílica do bambu foi medido de acordo com a norma TAPPI T245 cm-98 e os conteúdos de cálcio, ferro, manganês e magnésio de bambu foram determinados por espectroscopia de absorção atômica, de acordo com os procedimentos definidos pela norma CM SCAN 38:96.

AUTO-HIDRÓLISE - A etapa de auto-hidrólise foi realizada em digestor tipo M/K com capacidade de 7 L, equipado com sistema de aquecimento e de circulação interna. As condições utilizadas foram: 250 g de cavacos, razão de li-cor/cavacos de 4:1, temperatura de 170 °C, tempo até a temperatura de 90 min,



tempo à temperatura de 15 min. Após a auto-hidrólise, as amostras de bambu e eucalipto foram caracterizadas quanto aos conteúdos de: carboidratos, lignina, extrativos, minerais, ácidos urônicos e grupos acetil, conforme metodologia descrita acima para análise química das matérias-primas *in natura*.

PROCESSO DE POLPAÇÃO - Após o estágio de auto-hidrólise, o digestor foi resfriado até a temperatura de 80 °C e o licor residual foi drenado e recolhido para determinação do pH e ajuste em valor equivalente a 11; devido às características ácidas desse licor, se fez necessário o uso de solução alcalina para a elevação do pH. Após a remoção do licor residual dos cavacos da auto-hidrólise, foi adicionado licor de cozimento. O volume de licor da auto-hidrólise retido nos cavacos foi determinado gravimetricamente com base no peso de matéria-prima seca antes da auto-hidrólise; essa determinação foi necessária para calcular o volume do licor de cozimento a ser utilizado no processo. O processo de cozimento usado para o bambu foi o de Soda/AQ (hidróxido de sódio/antraquinona). Este foi conduzido sob as seguintes condições: 30% álcali ativo (AA), calculado com base no peso da biomassa seca, relação licor/cavacos de 4:1, temperatura máxima de 162 °C, tempo até a temperatura de 60 min, tempo à temperatura de 45 min e dosagem de antraquinona de 0,10%, calculada com base no peso da biomassa seca. O cozimento kraft do eucalipto (sulfeto de sódio/hidróxido de sódio) foi realizado sob as seguintes condições: 17,4% álcali ativo, sulfidez de 35%, 170 °C de temperatura máxima, tempo até a temperatura de 90 min, tempo à temperatura de 90 min. Após o processo de cozimento, o licor negro foi drenado e os cavacos foram cuidadosamente lavados com água, a separação de fibras foi feita utilizando o equipamento desagregador laboratorial e, em seguida, a polpa foi depurada em um depurador laboratorial dotado de peneiras de 0,2 mm de abertura. As amostras de polpa marrom foram caracterizadas pelo seu número kappa, viscosidade e alvura, de acordo com os procedimentos TAPPI T236 cm-85, T230 om-99 e T 525 om-92, respectivamente.

BRANQUEAMENTO - As amostras de polpa de bambu AH-NaOH/AQ e eucalipto AH-kraft foram branqueadas pelas sequências O-E-D-(EP)-D-P e O/O-D-(EP)-D-D, respectivamente, onde: O= simples estágio de deslignificação com oxigênio, O/O= duplo estágio de deslignificação com oxigênio sem lavagem intermediária, E= extração alcalina, D= estágio empregando dióxido de cloro, (EP)= extração oxidativa reforçada com peróxido de hidrogênio, P= branqueamento com peróxido de hidrogênio. A tabela 1 contém as condições usadas para cada estágio de branqueamento.

Tabela 1. Condições gerais de branqueamento

Condições	Polpa de Bambu						Polpa de Eucalipto				
	O	E	D	(EP)	D	P	O/O	D	(EP)	D	D
Consistência (%)	10	12	12	12	12	12	10	10	10	10	10
Temperatura, °C	105	40	60	80	80	80	95/100	55	90	75	75
Tempo, min	70	30	40	90	120	120	10/50	40	60	120	120
Pressão, kPa	600	-	-	-	-	-	500/350	-	-	-	-
O ₂ , kg/t	20	-	-	-	-	-	18/0	-	-	-	-
ClO ₂ as Cl ₂ , kg/t	-	-	10	-	30	-	-	15,7	-	11	1,0
NaOH, kg/t	20	80	-	10	5,0	7,0	20/0	-	12,0	-	-
H ₂ SO ₄ , kg/t	-	-	10	-	-	-	-	5,0	-	-	0,5
MgSO ₄ , kg/t	1,5	-	-	1,5	-	-	1,5/0	-	1,5	-	-
H ₂ O ₂ , kg/t	-	-	-	3,0	-	3,0	-	-	3,0	-	-
pH Final	11,2	13,5	2,8	10,8	4,3	10,3	11,7	2,4	11,2	4,4	4,7

O= simples estágio de deslignificação com oxigênio, O/O= duplo estágio de deslignificação com oxigênio sem lavagem intermediária, E= extração alcalina, D= estágio empregando dióxido de cloro, (EP)= extração oxidativa reforçada com peróxido de hidrogênio, P= branqueamento com peróxido de hidrogênio

As polpas branqueadas foram caracterizadas quanto aos seus teores de carboidratos (glicanas, xilanas, mananas, galactanas, arabinanas) por cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC), conforme procedimento descrito por Wallis (1996). Número kappa, viscosidade, alvura, alfa-celulose, cinzas e extrativos em diclorometano foram determinados de acordo com procedimentos Tappi descritos previamente. O teor de metais foi determinado por espectroscopia de absorção atômica, conforme procedimento SCAN CM 38:96. Os rendimentos da auto-hidrólise, cozimento e branqueamento foram medidos gravimetricamente.

Resultados e discussão

CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS - A densidade básica encontrada para o bambu foi de 553 kg/m³, maior que a obtida para a madeira de eucalipto (516 kg/m³). Uma alta densidade é sempre favorável na produção de polpa, visto que aumenta o rendimento da fábrica de polpa celulósica. No entanto, pode penalizar o rendimento da polpação pela deficiência de penetração do licor branco quando as condições não estão devidamente otimizadas; o tratamento de auto-hidrólise realizado antes do cozimento ajuda significati-

vamente a penetração do licor branco durante o processo de polpação. Portanto, a alta densidade dos cavacos de bambu não representa um problema incontornável para a produção de polpa para dissolução.

As composições químicas dos cavacos de bambu e eucalipto estão apresentadas na tabela 2, na qual é visto que o conteúdo de glicanas (49,3%) do bambu é maior do que o conteúdo existente no eucalipto (47,9%). O conteúdo de xilanas do bambu (19,5%) também foi maior do que o do eucalipto (11,2%), e foi compensado pelo seu teor de lignina (22,4%); tipicamente, lignina e xilanas compensam uma à outra na composição química da parede secundária da biomassa, com o conteúdo de glicanas variando apenas ligeiramente entre as diferentes matérias-primas. O alto conteúdo de glicanas e xilanas do bambu torna essa matéria-prima atrativa para produção de polpa de dissolução associada com uma subsequente utilização das xilanas extraídas e de derivados de xilanas para fins de biorrefinaria. As xilanas podem ser recuperadas por meio do processamento do licor da auto-hidrólise, depois da separação de uma pequena fração de lignina (Liu et al., 2011; Danielsson, 2007). O bambu apresentou maior teor de extrativos (16,2%) e minerais (1,5%) em relação ao eucalipto (4,1% de extrativos e 0,3% de minerais). Uma grande fração de extrativos provém do amido. O bambu também apresentou alto conteúdo de sílica e cálcio: 5.500 ppm e 1.821 ppm, respectivamente. O conteúdo de ferro, magnésio e manganês para o bambu foi de 299,4, 364,4 e 9,6 ppm, respectivamente. Altos conteúdos de extrativos e minerais são bastante indesejáveis para produção de polpa solúvel, podendo causar uma variedade de problemas operacionais (corrosão, deposição de pitch, degradação de químicos durante branqueamento, obstrução das caldeiras de recuperação, entre outros). Minerais e extrativos podem causar ainda sérias dificuldades durante a utilização da polpa solúvel na produção de derivados de celulose, caso não sejam adequadamente removidos durante o processo.

Tabela 2. Composição química do bambu e eucalipto expressa em percentagem, tendo como base o peso seco da matéria-prima livre de extrativos*

	Glu (%)	Xil (%)	Gal (%)	Ara (%)	Man (%)	Acetil (%)	Ácidos Urônicos (%)	Extrativos Totais** (%)	Cinzas** (%)	Lignina Total (%)
Bambu	49,3	19,5	0,6	0,8		3,0	0,9	16,2	1,5	22,4
Eucalipto	47,9	11,2	0,9	0,1		2,0	5,9	4,1	0,3	26,6

* TAPPI T264 cm-97; **na madeira total.

AUTO-HIDRÓLISE DOS CAVACOS DE BAMBU VERSUS EUCALIPTO - Os resultados obtidos para o tratamento de auto-hidrólise (AH) são mostrados na tabela 3. Esse tratamento resultou em uma remoção significativa de xilanas, tanto para o bambu quanto para o eucalipto, sendo o processo mais eficaz para o último. O teor de xilanas no bambu diminuiu 9,9%, a partir de seu valor original na matéria-prima, 19,5%, para 18,5% nos cavacos hidrolisados, ocorrendo uma perda de 5% de rendimento, enquanto que a xilanas do eucalipto diminuiram 29,4%, a partir de 11,2% na madeira para 8,9 % nos cavacos hidrolisados, ocorrendo uma perda de 11,1% de rendimento. O processo de auto-hidrólise no bambu foi menos eficaz para remoção das xilanas do que no eucalipto, embora o bambu possuísse um maior conteúdo de grupos acetil que o eucalipto. Isso pode ser explicado pelos elevados teores de extrativos e minerais presentes (particularmente amido e cálcio), o que preveniu a queda natural do pH no sistema reacional, que é típico das reações de auto-hidrólise; o pH final obtido foi de 4,4, enquanto o esperado seria na faixa de 2,5-3,0. Por outro lado, a quantidade significativa de amido existente nos cavacos de bambu pode ter impedido a impregnação deste durante a auto-hidrólise. Outra explicação plausível é a natureza mais condensada da lignina do bambu, que pode ter prejudicado a remoção das xilanas, uma vez que as xilanas estão ligadas à lignina. As relações S:G da lignina do bambu e do eucalipto foram 2:2.1 e 2:1, respectivamente. O tratamento AH aumentou o teor de lignina do bambu e do eucalipto de seus originais 22,4% e 26,6% para 23,2% e 27,6% nos cavacos hidrolisados, respectivamente. Esse aumento pode ser explicado pela remoção parcial de xilanas, que alterou o balanço de massa relativo em ambas as matérias-primas. Obteve-se uma remoção de lignina total de 1,5% e 7,8% para o bambu e eucalipto, respectivamente.

Tabela 3. Resultados da auto-hidrólise (AH) dos cavacos de bambu *versus* eucalipto

Resultados AH	Rendimento (%)	Xilanas (%)	Remoção de Xilanas (%)	Lignina (%)	pH do licor da AH	Remoção de Lignina Total (%)
Bambu	95,1	18,5	9,9	23,2	4,4	1,5
Eucalipto	88,9	8,9	29,4	27,6	2,8	7,8

POLPAÇÃO - O cozimento dos cavacos auto-hidrolisados do bambu e do eucalipto foi feito a fim de se alcançarem números kappa de 11,2 e 17,4, respectivamente. Para isso, foi necessária uma carga de álcali, NaOH, de 30% e 17,4% (tabela 4). A viscosidade da polpa foi bastante satisfatória para o bambu e o eucalipto, com um valor maior para o eucalipto, refletindo sua menor necessidade de álcali ativo.

Tabela 4. Resultados polpação para os cavacos auto-hidrolisados de bambu e eucalipto

Resultados polpação	AA (%) NaOH	No. Kappa	Rendimento da Polpação (%)	RendimentoAH + Polpação (%)	Viscosidade da Polpa (mPa.s)	Xilanas (%)	Sólidos no licor (%)
Bambu	30	11,2	43,4	41,2	46,8	8,4	16,5
Eucalipto	17,4	17,4	44,6	40,5	61,1	3,3	15,3

Os rendimentos depurados da polpação foram determinados com base no peso dos cavacos auto-hidrolisados e esses foram iguais a 43,4% e 44,6% para o bambu e o eucalipto, respectivamente. Assim, a remoção de xilanas a partir do material bruto, cavacos de eucalipto, pela AH diminuiu, significativamente, o rendimento da subsequente polpação kraft. Para o bambu, valores de rendimentos depurados entre 45-46% foram reportados para a mesma faixa de número kappa utilizada neste trabalho (Vu et al., 2004; Gue et al., 2010). Para o eucalipto, Santiago e Neto (2007) encontraram um rendimento depurado de 56,0% para o número kappa alvo deste estudo. Os rendimentos globais, incluindo os processos de auto-hidrólise (AH) e polpação foram de 41,2% e 40,5% para o bambu e eucalipto, respectivamente. A baixa estabilidade dos carboidratos remanescentes nas matérias-primas após o tratamento AH seguido do cozimento kraft pode ser explicada por dois fatores: (1) as xilanas remanescentes nos cavacos auto-hidrolisados são muito sensíveis às condições de cozimento kraft, pois elas estão severamente degradadas, possuindo um peso molecular muito baixo e uma elevada concentração de grupos terminais redutores e, portanto, estarão muito sensíveis ao álcali; (2) as cadeias de celulose tornam-se mais susceptíveis ao cozimento kraft porque a camada de xilanas existentes sobre as fibrilas de celulose é parcialmente removida, expondo a celulose ao ataque alcalino com conseqüente diminuição do peso molecular (MW) e aumento da polidispersividade (Colodette et al., 2011). As xilanas retidas nas polpas derivadas do bambu e do eucalipto foram de 8,4% e 3,3%, respectivamente, após a operação de polpação. A polpa de eucalipto contendo apenas 3,3% de xilanas pode ser utilizada para produções de polpa de dissolução após o branqueamento. No entanto, a polpa de bambu contendo 8,4% de xilanas encontra pouca aplicação na indústria de polpa de dissolução devido ao seu elevado conteúdo de xilanas, apesar das severas condições de polpação usadas. Assim, uma etapa de remoção subsequente de xilanas foi necessária durante a operação de branqueamento.

DESIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO E BRANQUEAMENTO - A eficiência da designificação com oxigênio obtida para as polpas derivadas da auto-hidrólise do bambu e do eucalipto foram de 66,1% e 66,7%, respectivamente. A eficiência de designificação com oxigênio é calculada com base no número kappa antes e depois do estágio com o oxigênio. A queda de viscosidade foi maior para a polpa de bambu e resultou em menor seletividade do estágio de oxigênio para essa polpa. A alvura de saída da polpa do bambu foi comparável à da polpa do eucalipto. Em geral, o desempenho da designificação com oxigênio foi bastante elevado para ambas as polpas, se comparado, por exemplo, com o de polpas kraft convencionais derivadas de madeira. A tabela 5 mostra os resultados obtidos para designificação com oxigênio.

Tabela 5. Performance da designificação com oxigênio para as polpas derivadas dos cavacos auto-hidrolisados de bambu e eucalipto

Resultados da designificação com oxigênio	Queda do Kappa (%)	Queda da Viscosidade (%)	Alvura (% ISO)	Seletividade*
Bambu	66,1	62,2	47,2	1,1
Eucalipto	66,7	50,2	47,1	1,3

*Seletividade= queda do kappa (%)/queda da viscosidade (%)

As polpas designificadas com oxigênio derivadas dos cavacos auto-hidrolisados do bambu e do eucalipto foram ainda mais branqueadas para uma alvura $\geq 92\%$ ISO com as sequências E-D-(EP)-D-P e D-(EP)-D-D, respectivamente (tabela 6). Um fator kappa fixo foi aplicado no primeiro estágio de dióxido de cloro e cargas variáveis foram aplicadas no segundo estágio-D. A carga total de dióxido de cloro necessária para produzir uma alvura elevada foi calculada pela soma do ClO_2 aplicado na etapa Do (fator kappa) com a dose ótima de ClO_2 obtida no estágio D1, que produziu a alvura desejada. Informações mais detalhadas sobre as condições utilizadas em cada etapa do branqueamento estão apresentadas na tabela 1 e nas notas de rodapé da tabela 6. A alvura obtida para a polpa branqueada de bambu (92,4%) foi semelhante à encontrada na literatura para polpa de madeira grau acetato (92,7%) (He et al., 2008). A demanda de cloro ativo total foi maior para a polpa de bambu (52,5 kg/tas de polpa celulósica) em relação à polpa de eucalipto (34 kg/tas de polpa celulósica).

Tabela 6. Resultados do branqueamento e da qualidade da polpa para as polpas de dissolução do bambu e do eucalipto

Condições	Polpa de Bambu						Polpa de Eucalipto				
	O	E	D ₀	(EP)	D ₁	P	O/O	D	(EP)	D ₁	D ₂
Consumo de reagentes, %	-	-	98,4	100	99,3	100	-	100	100	100	100
Número Kappa	3,8	3,5	-	-	-	-	5,8	-	1,2	-	-
Alvura, % ISO	47,2	45,4	71,7	81,1	91,5	92,4	50,5	74,7	84,9	91,3	92,0
Reversão de alvura, % ISO	-	-	-	-	-	2,4	-	-	-	-	1,5
Viscosidade, mPa.s	17,7	23,3	-	6,9	6,8	6,2	30,4	-	20,5	19,4	16,3
Rendimento, %	-	-	-	-	-	92,7	-	-	-	-	95,6
Xilanas, %	-	-	-	-	-	5,1	-	-	-	-	-
Alfa-Celulose	-	-	-	-	-	94,9	-	-	-	-	-
Cinzas, %	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-
Ca, ppm	-	-	-	-	-	277	-	-	-	-	-
Fe, ppm	-	-	-	-	-	25,5	-	-	-	-	-
Mn, ppm	-	-	-	-	-	1,7	-	-	-	-	-
Si, ppm	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-
Extraíveis em diclorometano, %	-	-	-	-	-	0,041	-	-	-	-	-
¹ Cloro ativo total kg/tas	52,5					34					
² Perda de rendimento, %	7,3					4,3					

*Bambu: estágio-D0: consistência: 12%, 60oC, 40 min, fator Kappa: 0,20, pH final: 2,8 e 10 kg/tas; estágio-D1: consistência: 12%, 80oC, 120 min, pH final: 4,5 e 10, 15, 20, 30 kg/tas ClO₂; Eucalipto: estágio-D1: consistência: 10%, 75oC, 120 min, fator Kappa: 0,27, pH final: 4,5; estágio-D2: consistência: 10%, 75oC, 120 min, pH final: 4,5 e 1, 2, 4, 6 kg/tas ClO₂.

¹Cloro ativo total (kg/tas) = ClO₂(kg/tas)*2,63 + H₂O₂(kg/tas)*2,09;

²Inclui a perda de rendimento no estágio de desdesignificação com oxigênio

.O= simples estágio de desdesignificação com oxigênio, O/O= duplo estágio de desdesignificação com oxigênio sem lavagem intermediária, E= extração alcalina, D= estágio empregando dióxido de cloro, (EP)= extração oxidativa reforçada com peróxido de hidrogênio, P= branqueamento com peróxido de hidrogênio.

Nota-se que a polpa de bambu tinha um número kappa igual a 3,8 após a deslignificação com oxigênio, enquanto que a polpa de eucalipto tinha um kappa igual a 5,8. Assim, a maior demanda de cloro ativo da polpa de bambu em relação à do eucalipto apenas pode ser explicada considerando que a lignina do bambu está mais condensada, particularmente pela fração proveniente da lignina do tipo p-hidroxifenila, a qual está presente mais significativamente na amostra de bambu. A perda de rendimento no processo de branqueamento foi maior para a polpa de bambu. A polpa de bambu também apresentou menor estabilidade de alvura e viscosidade do que a polpa de eucalipto. A baixa viscosidade (6,2 mPa.s) da polpa branqueada de bambu limita a sua aplicação em certos derivados, como acetato e nitrato; mas é adequada para a produção de raiona, viscose e carboximetilcelulose. De acordo com Henriksson et al. (2005) e Kvarnlöf et al. (2006), durante o processo da produção de viscose é necessário diminuir a viscosidade de polpa para valores na faixa de 200-300 dm³/kg (3,5-4,5 mPa.s), uma vez que uma elevada viscosidade afeta a capacidade de produção da viscose. Considerando-se que a maior perda de viscosidade da polpa de bambu ocorreu na fase de deslignificação com oxigênio, o uso de magnésio nessa fase poderia amenizar o problema. A viscosidade da polpa de eucalipto (16,3 mPa.s) é bastante aceitável para a maioria das aplicações da polpa solúvel.

O estágio E foi incluído no branqueamento da polpa de bambu, a fim de se obter menores teores de hemiceluloses e extrativos, requisitos para uma polpa solúvel de qualidade. A eficiência da conversão da celulose em derivados específicos é dependente do conteúdo de hemiceluloses na polpa de dissolução (Christov et al., 1998). As hemiceluloses são indesejáveis na polpa de dissolução, afetando a processabilidade da celulose, por exemplo a filtrabilidade e a xantação no processo de produção da viscose. Elas também afetam as propriedades dos produtos finais de celulose, tais como a resistência mecânica da viscose produzida (Christov & Prior, 1993). Neste estudo, uma polpa branqueada de bambu contendo 5,1% de xilanas foi obtida (tabela 5), um valor que é aceitável para muitas aplicações da polpa de dissolução (Christov et al., 1998).

O conteúdo de minerais na polpa branqueada de bambu estava dentro dos níveis aceitáveis. Por exemplo, Barba et al. (2002) mostraram que a carboximetilcelulose pode ser produzida a partir de polpas solúveis de não madeira com um teor de cinzas aproximadamente seis vezes maior do que o encontrado na polpa de bambu deste trabalho. Um estudo detalhado (tabela 5) da cinza de bambu mostrou que essa é composta principalmente de cálcio, ferro, manganês, cobre e sílica. O teor de alfa-celulose (94,9%) encontrado



está em concordância com os valores (> 90%) relatados na literatura para as polpas grau viscoso (Christov et al., 1998; Behin & Zeyghami, 2009; Ibarra et al., 2010).

O conteúdo de extrativos em diclorometano (DCM) obtido na polpa de bambu foi igual a 0,041% (Tabela 6). He et al. (2008) encontraram valores do conteúdo de extrativos em DCM para polpa de bambu grau acetato e grau viscoso equivalentes a 0,08 e 0,22%, respectivamente. Isso mostra que os métodos de cozimento e branqueamento propostos, incluindo um estágio de extração alcalina, foram eficazes na obtenção de polpas com adequados níveis de extrativos para aplicação como polpa de dissolução.

Conclusões

1. O processo de auto-hidrólise dos cavacos possibilita a remoção das xilanas, porém diminui o rendimento do processo de polpação em aproximadamente 10%, quando comparado aos processos convencionais de polpação alcalina para a produção de polpa para papéis branqueados, por exemplo.
2. As xilanas extraídas por processos de auto-hidrólise podem ser utilizadas na produção de biocombustíveis.
3. O processo de polpação AH-NaOH/AQ e a sequência de branqueamento O-E-D-(EP)-DP se mostraram satisfatórios para produção de polpa solúvel do bambu, resultando em uma polpa branqueada com 94,9% de α -celulose, 92,4% de alvura, 6,2 mPa de viscosidade, 5,1% de xilanas, 0,04% de extrativos em DCM e 0,13% de cinzas, que são especificações aceitáveis para alguns derivados de celulose.
4. A baixa viscosidade limita as aplicações da polpa de dissolução do bambu para certas aplicações, tais como acetato e nitrato; mas é útil para a produção de viscoso raiona e carboximetilcelulose.
5. Quando comparada com a polpa solúvel de eucalipto, a polpa de bambu é de qualidade ligeiramente inferior devido ao seu maior conteúdo de minerais e hemiceluloses.



Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Estadual de Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) e à Comissão Europeia (projeto LIGNODECO) pelo apoio financeiro.

Referências

- ANDRADE, M.F.; COLODETTE, J.L. Dissolving pulp production from sugar cane bagasse. **Industrial Crops and Products**, v.52, p.58-64, 2014.
- BARBA, C.; MONTANÉ, D.; RINAUDO, M.; FARRIOL, X. Synthesis and characterization of carboxymethylcelluloses (CMC) from non-wood fibers I. Accessibility of cellulose fibers and CMC synthesis. **Cellulose**, v.9, n.3, p.319-326, 2002.
- BEHIN, J.; ZEYGHAMI, M. Dissolving pulp from corn stalk residue and waste water of Merox unit. **Chemical Engineering Journal**, v.152, n.1, p.26-35, 2009.
- BERALDO, A.L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba: Livraria Editora Agropecuária, 2004.
- CHRISTOV, L.P.; PRIOR, B.A. Xylan removal from dissolving pulp using enzymes of *Aureobasidium pullulans*. **Biotechnol. Lett.**, v.15, n.12, p.1269-1274, 1993.
- CHRISTOV, L.P.; AKHTAR, M.; PRIOR, B.A. The potential of bisulfite pulping in dissolving pulp production. **Enzyme Microb. Technol.**, v.23, n.1, p.70-74, 1998.
- COLODETTE, J.L.; LOUNGUE Jr., D.; PEDRAZZI, C.; OLIVEIRA, R.C.; GOMIDE, J.L.; GOMES, F.J.B. Pulpability and bleachability of xylan-depleted eucalyptus wood chips. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v.50, n.4, p.1847-1852, 2011.
- DANIELSSON, S. Xylan reactions in kraft cooking. Process and product considerations. Estocolmo: Royal Institute of Technology. School of Chemical Sciences and Engineering. Department of Fibre and Polymer Technology, 2007. Tese de Doutorado.
- DENCE, W. The determination of lignin. In: LIN, S.Y.; DENCE, C.W. (Eds.). **Methods of lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. p.33-61.
- GARGULAK, J.D.; LEBO, S.E. Commercial use of lignin-based. In: GLASSER, W.G.; NORTHEY, R.A.; Schultz, T.P. (Eds.). **Lignin: historical, biological, and materials perspectives**. Washington: American Chemical Society, 2000. p.305-320.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Eds.). **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. Nova York: Wiley-Interscience, 1971. p.241-266.
- GOMIDE, J.L. Polpa de celulose – **Química dos processos alcalinos de polpação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determination of lignin content in woody material: modified Klason method. **O Papel**, v.47, n.8, p.36-38, 1976.
- GUE, S.; HEIJNESSON-HULTEN, A.; BASTA, J.; WANG, Q.; GERMGARD, U. Optimum bamboo kraft cooking- the influence of the cooking conditions on the pulp and fibre properties. **O Papel**, v.71, n.7, p.63-76, 2010.



- HE, J.; CUI, S.; WANG, S. Preparation and crystalline analysis of high-grade bamboo dissolving pulp for cellulose acetate. **Journal of Applied Polymer Science**, v.107, n.2, p.1029-1038, 2008.
- HENRIKSSON, G.; CHRISTIERNIN, M.; AGNEMO, R. Monocomponent endoglucanase treatment increases the reactivity of softwood sulphite dissolving pulp. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v.32, n.5, p.211-214, 2005.
- IBARRA, D.; KÖPCKE V.; EK, M. Behavior of different monocomponent endoglucanases on the accessibility and reactivity of dissolving-grade pulps for viscose process. **Enzyme and Microbial Technology**, v.47, n.7, p.355-362, 2010.
- KVARNLÖF, N.; GERMGÅRD, U.; JÖNSSO, L.; SÖDERLUND, C.A. Enzymatic treatment to increase the reactivity of a dissolving pulp for viscose production. **Appita Journal**, v.59, n.3, p.242-246, 2006.
- LIU, Z.; FATEHI, P.; JAHAN, M.S.; NI, Y. Separation of lignocellulosic materials by combined processes of pre-hydrolysis and ethanol extraction. **Bioresource Technology**, v.102, n.2, p.1264-1269, 2011.
- LUO, X.; LIU, J.; WANG, H.; HUANG, L.; CHEN, L. Comparison of hot-water extraction and steam treatment for production of high purity-grade dissolving pulp from green bamboo. **Cellulose**, v.21, n.3, p.1445-1457, 2014.
- MEZZOMO, L.X. Potencialidade de Eucalyptus cloeziana S. Muell, E. citriodora Hook, E. urophylla St. Blake e E. urophylla x grandis, cultivados na Bahia, para produção de celulose solúvel, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1996. Dissertação de Mestrado.
- MUSSATTO, S.I.; FERNANDES, M.; ROBERTO, I.C. Lignin recovery from brewer's spent grain black liquor. **Carbohydrate Polymers**, v.70, n.2, p.218-223, 2007.
- NEOGI, A.N.; SEALEY, J.E.; HARVEY PERSINGER, W.; LUO, M.; ROSCELLI, V.A. **Alkaline pulp having low average degree of polymerization values and method of producing the same**. United States Patent, No. 574538, 2001.
- SABED, A.; JAHAN, M.S.; LI, H.; LIU, Z.; NI, Y.; HEININGEN, A. Mass balances of components dissolved in the pre-hydrolysis liquor of kraft-based dissolving pulp production process from Canadian hardwoods. **Biomass and Bioenergy**, v.39, p.14-19, 2012.
- SANTIAGO, A.; NETO, C.P. Assessment of potential approaches to improve Eucalyptus globulus kraft pulping yield. **J. Chem Technol Biotechnol**, v.82, n.5, p.424-430, 2007.
- SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD TESTING COMMITTEE. **Scan Test Methods**, 1993.
- SCURLOCKA, J.M.O.; DAYTON, D.C.; HAMBESB, B. Bamboo: an overlooked biomass resource?. **Biomass and Bioenergy**, v.19, n.4, p.229-244, 2000.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Tappi Standard Methods**. Atlanta: TAPPI, 2000.
- VU, T.H.M.; PAKKANEN, H.; ALËN, R. Delignification of bamboo (*Bambusa procera acher*) Part 1. kraft pulping and the subsequent oxygen delignification to pulp with a low kappa number. **Industrial Crops and Products**, v.19, n.1, p.49-57, 2004.
- WALLBERG, O.; LINDE, M.; JONSSON, A.S. Extraction of lignin and hemicelluloses from kraft black liquor. **Desalination**, v.199, p.413-414, 2006.
- WALLIS, A.; WEARNE, R.; WRIGHT, P. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, v.49, n.4, p.258-262, 1996.

Tratamento de águas residuárias em solo vegetado com bambu



Rogério de Araújo Almeida⁽¹⁾ e Édio Damásio da Silva Júnior⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia. Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia, Goiás, Brasil, CEP: 74.690-900. E-mail: rogerioufg@gmail.com

⁽²⁾ Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana, km 01, zona rural, Rio Verde, Goiás, Brasil, CEP: 75.901-970. E-mail: edio.damasio@ifgoiano.edu.br

Resumo – O presente trabalho objetivou avaliar a efetividade do uso de diferentes espécies de bambu no tratamento de esgotos, industrial e sanitário. Foram utilizadas três espécies de bambus (*Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* e *Dendrocalamus asper*) no tratamento do esgoto industrial e outras três (*Guadua angustifolia*, *Phyllostachys aurea* e *Phyllostachys bambusoides*) no tratamento do esgoto sanitário. Exemplares das espécies de bambu foram plantados em recipientes (tambores plásticos, no primeiro experimento e caixas de fibroamianto, no segundo) preenchidos com camadas sobrepostas de brita, areia e solo (latossolo vermelho). Os efluentes líquidos foram aplicados em fluxo vertical descendente, propiciando contato com o sistema radicular dos bambus. Coletaram-se amostras do esgoto bruto e tratado para fins de análises físico-químicas e microbiológicas. A eficiência de remoção de poluentes do esgoto foi comparada entre as espécies vegetais e também com os tratamentos testemunhas (sem vegetação). Os tratamentos com espécies de bambu apresentaram eficiências na remoção de poluentes iguais ou superiores aos sem plantas. O gênero *Guadua* foi o mais eficiente no tratamento de ambos os resíduos. Plantas da espécie *P. aurea* tiveram seu desenvolvimento comprometido pela aplicação do esgoto. Conclui-se pela real possibilidade de utilização de espécies de bambu no tratamento de esgoto, seja industrial ou sanitário.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: FITORREMEDIAÇÃO, *GUADUA ANGUSTIFOLIA*, *GUADUA CHACOENSIS*, *DENDROCALAMUS ASPER*, *PHYLLOSTACHYS AUREA*, *PHYLLOSTACHYS BAMBUSOIDES*.

Wastewater treatment in soil vegetated with bamboo

Abstract – *This study aimed to evaluate the effectiveness of using different species of bamboo in industrial and domestic sewage treatment. Three species of bamboo (Guadua angustifolia, Guadua chacoensis and Dendrocalamus asper) were used in industrial wastewater treatment and three (Guadua angustifolia, Phyllostachys aurea and Phyllostachys bambusoides) in sewage treatment. Bamboo species were planted in containers (plastic barrels in the first experiment and fibroamianto boxes in the second) filled with layers of gravel, sand and soil. Liquid effluents were applied in vertical downward flow, providing contact with the root system of bamboo. Samples were collected from raw sewage and treated for purposes of physicochemical and microbiological analysis. The efficiency of the removal of pollutants from the sewage was compared among the plants species and also with the witness treatments (without vegetation). Treatments with bamboo species showed efficiency in removing pollutants equal or above than the ones with no planted systems. Guadua genus was the most efficient in the treatment of both wastes. Plants of the species P. aurea had their development compromised by the application of sewage. It was concluded that there is a real possibility of using bamboo species in wastewater treatment, either from industrial or sanitary origin.*

INDEX TERMS: PHYTOREMEDIATION, GUADUA ANGUSTIFOLIA, GUADUA CHACOENSIS, DENDROCALAMUS ASPER, PHYLLOSTACHYS AUREA, PHYLLOSTACHYS BAMBUROIDES.

Introdução

A disposição de águas residuárias *in natura* (sem tratamento) no ambiente pode causar danos tanto ao equilíbrio do ecossistema natural quanto à qualidade de vida da própria espécie humana.

Efeitos negativos à saúde da população podem ser verificados em decorrência da contaminação dos corpos hídricos por metais pesados ou compostos orgânicos tóxicos, oriundos de águas residuárias. Além disso, a presença de elevada quantidade de matéria orgânica ou de nutrientes no ambiente aquático pode comprometer sua biodiversidade (Manahan, 2013).

Antes de seu lançamento no ambiente, as águas residuárias geradas pelas atividades humanas devem ser tratadas de forma adequada para reduzir seu potencial poluidor.

Os alagados construídos (AC's) são sistemas projetados para melhorar a qualidade dessas águas residuárias, reduzindo sua carga poluidora no ambiente. Fundamentam-se nos processos naturais de purificação de águas, decorrentes da interação da vegetação de zonas úmidas ou alagadas, seus solos e a comunidade microbiana ali existente (Nikolić et al., 2009).

De acordo com Kadlec e Wallace (2009), o uso desses ambientes no tratamento de efluentes líquidos ocorre desde a década de 1950. Desde então, sua utilização tem sido pesquisada em diversos países para tratamento dos mais variados resíduos, apresentando eficiência satisfatória com baixo custo de implantação e operação, além de possibilitar o tratamento dos resíduos de forma descentralizada.

Embora a utilização de AC's no tratamento de águas residuárias seja ampla em diversos países pelo mundo, no Brasil seu uso ainda é limitado à realização de poucas pesquisas experimentais. Pouco se conhece sobre o potencial da flora brasileira na remoção de poluentes contidos nas águas residuárias.

Pesquisas em nível nacional têm utilizado espécies vegetais como taboa (*Typha* sp.), arroz (*Oryza sativa* L.), lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König), capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), papiro (*Cyperus papyrus* L.), entre outras (Almeida, 2005; Brasil et al., 2007; Philippi et al., 2007; Silva, 2007; Almeida et al., 2010; Matos et al., 2010). No entanto, ainda são necessários estudos mais detalhados para legitimar o desempenho dos alagados construídos, segundo a presença dessas e de outras espécies vegetais, incluindo o bambu.

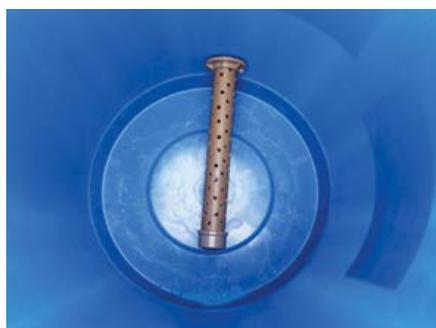
Mesmo que muitas espécies de bambu não sejam nativas do Brasil, diversas delas foram introduzidas no país e atualmente possuem ampla diversidade e distribuição geográfica, possibilitando seu acesso a grande parte da população brasileira e para diversos usos, incluindo o tratamento de águas residuárias. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a efetividade do uso de diferentes espécies de bambu no tratamento de esgotos industrial e sanitário.

Material e métodos

Foi avaliada, em escala experimental, a efetividade de diferentes espécies de bambu no tratamento de esgoto industrial (Mendonça, 2010) e de esgoto sanitário (Queje, 2011).

TRATAMENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO INDUSTRIAL COM BAMBU - Foram avaliadas três espécies de bambus (*Guadua angustifolia*, *Guadua chacoensis* e *Dendrocalamus asper*) no tratamento de esgoto industrial.

A estação experimental de tratamento, do tipo alagado construído, era constituída por tambores de 200L (87cm de altura e 55cm de diâmetro, internamente), preenchidos com três camadas de substrato e plantados com as espécies de bambu. De baixo para cima, os recipientes foram preenchidos com camadas de brita #1 (10cm de espessura), areia grossa (10cm de espessura) e completadas (até 10cm da borda superior) com solo da região (latossolo vermelho distroférrico) (figura 1).



(A) Instalação do tubo de drenagem



(B) Recobrimento do tubo com brita # 1



(C) Cobertura da brita com areia lavada



(D) Preenchimento do leito com solo da região

Figura 1. Detalhe da sequência das etapas construtivas dos módulos de tratamento

Ao todo, foram implantados 32 módulos de tratamento (figura 2), sendo que em oito deles não houve o plantio do vegetal (para funcionar como sistema controle). Nos demais 24 módulos, foram plantadas as três espécies de bambu. Uma muda por módulo, com cerca de 50cm de altura.



Figura 2. Vista parcial da estação experimental de tratamento de efluente líquido industrial utilizando espécies de bambu

O efluente utilizado era originado no Distrito Industrial de Senador Canelo, Goiás, que possui atividades industriais diversas, de indústrias alimentícias e farmacêuticas até produção de móveis, fertilizantes e tintas, além de uma grande indústria recicladora de papel. O efluente passava por um tratamento prévio composto por peneira, decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário. Após sair do decantador secundário, era coletado e aplicado (por bombeamento) na superfície dos módulos de tratamento, em cinco aplicações diárias.

O valor médio de entrada da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no sistema experimental de tratamento foi de $654,55 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. O teor de oxigênio dissolvido (OD) foi de $1,30 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ e o da demanda química de oxigênio (DQO), de $3.735,25 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. O nível do esgoto dentro dos módulos de tratamento foi mantido dez centímetros abaixo da superfície do substrato.

Simularam-se quatro diferentes lâminas de aplicação (mediante variação da vazão) do efluente líquido industrial: $176,8 \text{ mm.d}^{-1}$, $212,2 \text{ mm.d}^{-1}$, $247,6 \text{ mm.d}^{-1}$ e $353,7 \text{ mm.d}^{-1}$. Cada lâmina foi aplicada continuamente em oito módulos de tratamento (de modo a englobar as três espécies de bambu e um sistema controle, com duas repetições por lâmina) (figura 3).

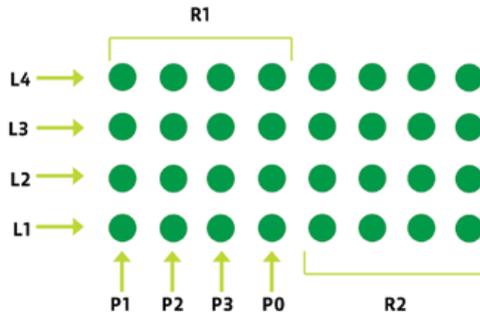


Figura 3. Esquema do delineamento experimental, apresentando quatro linhas de distribuição (L1 a L4 = lâminas de aplicação de esgoto), três espécies vegetais e testemunha sem planta (P1 a P0) e duas repetições (R1 e R2)

Ao fluir verticalmente dentro dos leitos de tratamento, o esgoto era tratado. Para avaliação da eficiência do tratamento foram realizadas análises laboratoriais do efluente líquido, antes e após passar por cada módulo de tratamento.

As amostras de efluente para análise de qualidade deu-se semanalmente, durante cinco meses, analisando-se uma lâmina de aplicação por semana. Assim, após quatro semanas o efluente desta mesma lâmina voltava a ser analisado. Foram coletadas amostras simples do efluente de cada módulo de tratamento e do esgoto afluente. Avaliaram-se: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, fosfato, turbidez e coliformes termotolerantes.

A eficiência de tratamento de cada atributo foi calculada comparando-se sua concentração no efluente, após passar pelo tratamento, com sua concentração média no efluente da estação de tratamento de esgotos do Distrito Industrial (afluente da pesquisa). Neste experimento não foi considerado o volume evapotranspirado, o que subestimou a eficiência do tratamento.

TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO COM BAMBU - O esgoto sanitário utilizado nesta pesquisa provinha de um campus universitário da cidade de Goiânia, em Goiás. Foi captado diretamente da lagoa facultativa de tratamento, próximo à área de entrada de efluente.

Foram utilizadas três espécies de bambus (*Guadua angustifolia*, *Phyllostachys aurea* e *Phyllostachys bambusoides*) e um tratamento sem plantas (testemunha), com três repetições.

A estação experimental de tratamento do esgoto sanitário (figura 4) foi constituída por doze leitos (caixas d'água de fibroamianto de 1.000L, do tipo

cilíndrica empilhável, com 74,5cm de altura, 123,8cm de diâmetro inferior e 138,0cm de diâmetro superior) preenchidos com duas camadas de substrato. De baixo para cima, os recipientes foram preenchidos com camadas de 26cm de espessura de brita #3 e 32cm de espessura de latossolo vermelho distroférrico (figura 5).

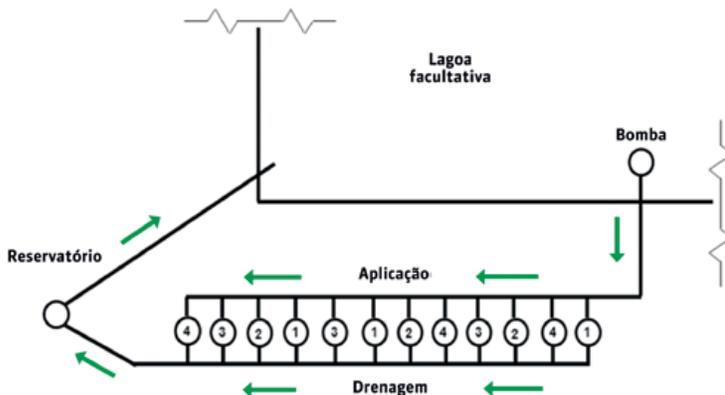


Figura 4. Esquema do delineamento experimental, apresentando quatro tratamentos (1 – solo sem plantas; 2 – *Phyllostachys bambusoides*; 3 – *Phyllostachys aurea*; 4 – *Guadua angustifolia*) e três repetições

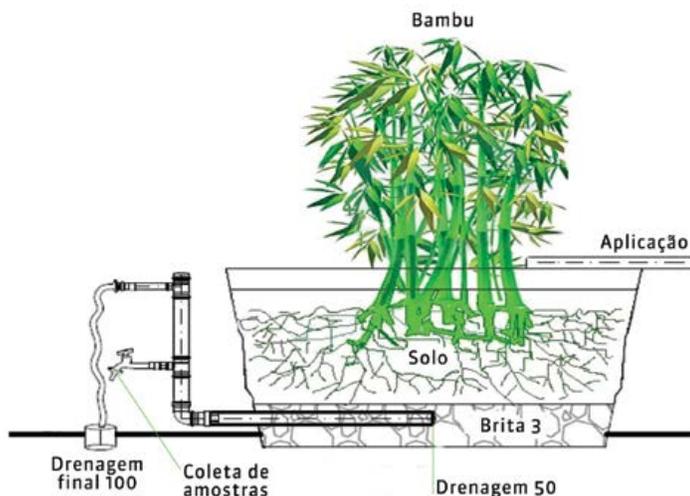


Figura 5. Detalhe de um leito cultivado com bambu na estação experimental de tratamento de esgoto sanitário do tipo alagados construídos

Simularam-se duas diferentes lâminas de aplicação (mediante variação de vazão) do esgoto sanitário nos sistemas plantados e controle: 113,0 mm.d⁻¹ e 51 mm.d⁻¹, resultando em tempos de tratamento de 2,3 dias e 5,2 dias, respectivamente. Esses volumes eram aplicados na superfície dos módulos de tratamento, diariamente, subdivididos em três aplicações com intervalo de oito horas entre si, e perfaziam um fluxo vertical descendente. O nível do esgoto dentro dos módulos de tratamento foi mantido cinco centímetros abaixo da superfície do substrato.

O experimento foi conduzido por doze meses e periodicamente foram coletadas amostras de esgoto, antes e após passar pelo sistema de tratamento, para fins de análises laboratoriais e cálculo de eficiência de tratamento. É importante salientar que as mudas de bambu necessitam de no mínimo cinco a seis anos para atingirem seu potencial de desenvolvimento. Assim, não houve tempo suficiente para que chegassem ao desenvolvimento característico de cada espécie, o que limitou a eficiência de tratamento.

Esta foi calculada comparando-se a carga de entrada (concentração vezes volume) com a carga de saída, conforme sugerido por Almeida e Ucker (2011). A diferença de volume entre entrada e saída foi representada pela evapotranspiração, que foi medida nos quatro tratamentos, mediante coleta de líquido drenado e comparação com o volume aplicado, incluindo as chuvas.

Foram avaliados a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, fosfato, turbidez e coliformes termotolerantes.

Resultados e discussão

Os resíduos líquidos avaliados nesta pesquisa foram parcialmente tratados em suas respectivas estações antes de serem aplicados nos leitos vegetados com bambus. Mesmo após prévio tratamento, essas águas residuárias apresentavam grande potencial poluidor (tabela 1), podendo ter impactos negativos no meio ambiente.

Tabela 1. Características dos efluentes, industrial e sanitário, utilizados nos sistemas experimentais de tratamento de esgoto cultivados com plantas de bambu

Atributo	Efluente industrial	Efluente sanitário
DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	654,5	51,8
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	3.735,2	277,9
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	31,3	17,2
Fosfatos (mg.L ⁻¹)	2,7	11,6
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	1,2 x 10 ⁵	1,6 x 10 ⁵
Turbidez (UNT)	765,0	205,8

O teor de material orgânico presente em águas residuárias pode ser medido por meio dos atributos DBO e DQO. A adequada remoção de ambos é fundamental, uma vez que sua disposição em corpos hídricos em concentrações elevadas pode acarretar decaimento de oxigênio dissolvido no ambiente aquático e mortandade de seres vivos (Sperling, 2005).

Comparando os dois tipos de águas residuárias, constata-se que a de origem industrial possui carga orgânica muito superior à sanitária, principalmente em relação à DQO.

Quando avaliado conforme a legislação ambiental brasileira, nos termos da resolução 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama, 2011), apenas o efluente sanitário possuía qualidade suficiente para ser disposto em corpos hídricos locais, uma vez que a concentração máxima permitida para DBO é de 120,0 mg.L⁻¹ e de 20,0 mg.L⁻¹ para nitrogênio amoniacal. A citada resolução não estabelece valores para os demais parâmetros em estudo. Já o lançamento do efluente líquido industrial em mananciais hídricos está condicionado à eficiência mínima de 60% de remoção de carga orgânica em sua estação de tratamento e a um estudo de autodepuração do corpo hídrico, uma vez que a concentração de DBO de saída é superior a 120,0 mg.L⁻¹.

Outra classe de parâmetro muito importante no estudo da qualidade de águas residuárias são os nutrientes. Nesta pesquisa, destaca-se a presença de nitrogênio amoniacal e fosfatos. Águas residuárias com elevadas quantidades desses compostos, se descartadas de forma inadequada no meio ambiente, podem causar impactos negativos, como a eutrofização de corpos hídricos (Jordão & Pessôa, 2011).

A concentração de nitrogênio amoniacal e turbidez do efluente líquido das indústrias foi maior do que a do esgoto sanitário, enquanto o inverso ocorreu no caso dos fosfatos e coliformes termotolerantes.

A presença de microrganismos inclusos na classificação de coliformes termotolerantes nas águas residuárias também é um problema de ordem sa-

nitária, principalmente em virtude de estes serem originados a partir de contaminação fecal, podendo transmitir doenças por veiculação hídrica (Jordão & Pessôa, 2011).

Já a turbidez, segundo Sperling (2005), pode ser utilizada para indicar de imediato, e aproximadamente, o estado de decomposição do esgoto. Também pode ser medida para caracterizar a eficiência do tratamento biológico, uma vez que está relacionada à concentração de sólidos em suspensão.

De qualquer forma, atendendo ou não à legislação ambiental, ambas as águas residuárias utilizadas nas pesquisas careciam de melhor tratamento antes de sua disposição no meio ambiente.

TRATAMENTO DO EFLUENTE LÍQUIDO INDUSTRIAL - Após tratamento nos leitos cultivados com espécies vegetais de bambu, o efluente líquido obteve menor concentração de poluentes em relação aos valores de entrada (tabela 2).

Tabela 2. Características médias da qualidade do efluente líquido industrial após tratamento nos leitos cultivados com espécies de bambu e em solo sem planta e eficiências de tratamento

Atributo	Média das concentrações / Eficiência de tratamento (%)							
	<i>Guadua angustifolia</i>		<i>Guadua chacoensis</i>		<i>Dendrocalamus asper</i>		Solo sem planta	
DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	27,1	95,8	26,1	96,1	36,8	94,3	80,5	75,3
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	327,6	91,2	311,0	91,6	414,7	88,8	639,9	82,8
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	2,46	92,1	2,48	90,0	2,69	91,3	5,90	81,1
Fosfatos (mg.L ⁻¹)	0,41	84,5	0,34	87,2	0,44	83,4	0,78	70,6
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	328,33	99,7	592,78	99,4	705,00	99,3	7,68 x 10 ³	64,8
Turbidez (UNT)	142,9	81,3	144,4	81,1	162,3	78,8	277,2	63,7

Os leitos de tratamento vegetados com bambu foram mais eficientes na remoção de todos os atributos do efluente industrial, comparados aos leitos sem plantas. Tal resultado comprova a ação das plantas de bambu no tratamento do efluente.

As três espécies de bambu apresentaram significativa redução na DBO (acima de 94%), destacando-se as do gênero *Guadua*, com eficiência média de tratamento de 96%. A remoção nos módulos sem plantas foi de 75%. As *Guaduas* foram estatisticamente mais eficientes que o *Dendrocalamus*, que

por sua vez foi mais eficiente que o solo sem plantas (Tukey-Kramer a 5% de probabilidade). Comportamento semelhante foi observado para a remoção da DQO.

As concentrações de nutrientes (nitrogênio amoniacal e fosfatos) também apresentaram reduções proporcionais às de matéria orgânica, destacando-se também a melhor efetividade no tratamento da água residuária pelas espécies de bambu do gênero *Guadua*, embora as eficiências das plantas não tenham diferido estatisticamente entre si. As três espécies de bambu removeram acima de 90% de nitrogênio amoniacal e de 80% de fosfatos, enquanto o leito sem plantas removeu em média 81% e 71%, respectivamente.

Baseado na resolução 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, o efluente líquido tratado pelas plantas de bambu se enquadrou em qualidade suficiente para ser disposto em corpos hídricos de Classe 2, segundo as concentrações de nitrogênio amoniacal e DBO.

Analisando-se a remoção de coliformes termotolerantes, todas as espécies de bambu demonstraram boa eficiência (acima de 99%) na remoção desse grupo de microrganismos. Nos módulos sem vegetação, a eficiência média foi de 65%, ressaltando a importância da presença das plantas no tratamento de microrganismos patogênicos. As *Guaduas* foram estatisticamente mais eficientes que o *Dendrocalamus*, que por sua vez foi mais eficiente que o solo sem plantas.

De forma igualitária aos demais atributos do efluente industrial, a turbidez sofreu significativa redução em todos os módulos de tratamento com plantas, com eficiência média mínima de 79%. Observou-se diferença estatística apenas para o efluente tratado somente com o solo (64%).

Comparando-se os leitos com plantas com aqueles sem vegetação, é notória a importância das espécies vegetais para maior efetividade no tratamento do resíduo líquido. De acordo com Nikolić et al. (2009), a interação entre o sistema radicular das espécies vegetais, as bactérias heterótrofas (comumente encontradas em águas naturais e águas residuárias) e o meio substrato são os grandes responsáveis pela degradação do material poluente.

Para Kadlec e Wallace (2009), o sistema radicular vegetal libera oxigênio no meio, propiciando adequadas condições de crescimento de microrganismos (aeróbios, anaeróbios e anóxicos) que auxiliam no processo de tratamento das águas residuárias.

TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO - Após tratamento nos leitos cultivados com espécies vegetais de bambu, o esgoto sanitário também obteve menor concentração de poluentes em relação aos valores de entrada (tabela 3).

Tabela 3. Características médias da qualidade do esgoto sanitário após tratamento nos leitos cultivados com espécies de bambu e em solo sem planta e eficiências de tratamento

Atributos	Média das concentrações / Eficiência de tratamento (%)							
	<i>Guadua angustifolia</i>		<i>Phyllostachys bambusoides</i>		<i>Phyllostachys aurea</i>		Solo sem planta	
DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	7,1	98,3	6,1	90,0	6,2	89,0	6,6	89,2
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	57,1	97,1	50,3	83,2	54,0	82,1	37,3	85,7
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	2,5	98,2	3,4	86,3	2,6	89,5	1,3	95,3
Fosfatos (mg.L ⁻¹)	1,3	98,4	1,6	87,0	1,7	86,4	0,7	94,5
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	9,21 x 10 ⁴	92,0	8,18 x 10 ⁴	49,0	5,88 x 10 ⁴	60,3	4,78 x 10 ⁴	71,9
Turbidez (UNT)	62,0	96,6	54,8	80,2	42,1	85,0	52,1	80,8

Os quatro tratamentos foram muito eficientes na redução da DBO (eficiência mínima de 89%), destacando-se os leitos com *Guadua* (98%). Os leitos sem plantas foram tão eficientes quanto os leitos com *Phyllostachys*, sugerindo que as plantas desse gênero não melhoraram a eficiência do tratamento. A concentração média de DBO de saída nos tanques com *Guadua* foi superior aos demais tratamentos. Todavia, a taxa de evapotranspiração (86%) nesses tanques foi superior à observada nos demais (média de 7%), reduzindo o volume de saída e, conseqüentemente, elevando a eficiência de tratamento, que considerou as cargas poluidoras e não apenas as concentrações do atributo no efluente.

O tratamento com *Guadua* foi superior na remoção de todos os atributos estudados, enquanto os leitos com *Phyllostachys* comportaram-se igual ou até mesmo com menor eficiência que os leitos sem plantas, o que não era de se esperar. Tal comportamento foi atribuído à dificuldade das plantas de *Phyllostachys* em se adaptar ao sistema de tratamento do tipo alagado construído, com a saturação constante de efluente no sistema radicular. As plantas tiveram seu desenvolvimento comprometido e algumas inclusive morreram. Na pesquisa com esgoto industrial as plantas das espécies *Guadua angustifolia*, *Guadua cha-*

coensis e *Dendrocalamus asper* se adaptaram bem ao sistema, sugerindo que a dificuldade de adaptação seja característica do gênero *Phyllostachys*.

As concentrações de DQO se comportaram de maneira similar à DBO, apresentando significativa redução (concentrações inferiores a 58,0 mg O₂.L⁻¹) em todos os leitos de tratamento (com e sem plantas). Os melhores resultados (em termos de concentração) entre as espécies vegetais foram observados para o gênero *Phyllostachys*. No entanto, a média de concentração do esgoto de saída dos leitos com solo sem vegetação foi menor do que a dos leitos plantados. Levando-se em consideração a evapotranspiração na eficiência de tratamento, a remoção de carga orgânica em termos de DQO foi superior a 82% nos leitos com vegetação, tendo a espécie *G. angustifolia* novamente a maior efetividade de remoção percentual (97,1%). A eficiência de remoção de DQO no solo controle foi maior do que a do gênero *Phyllostachys*.

A análise estatística dos dados de eficiência na remoção de DBO e DQO mostrou que apenas o tratamento com *Guadua* diferiu dos demais (Tukey a 5% de probabilidade).

As concentrações de nutrientes (nitrogênio amoniacal e fosfatos) também apresentaram reduções e comportamentos proporcionais às de matéria orgânica, destacando-se também a melhor efetividade (em termos percentuais) no tratamento do esgoto sanitário pelo tratamento com *Guadua*. Entretanto, como no parâmetro DQO, o solo controle foi mais efetivo no tratamento do esgoto do que as espécies do gênero *Phyllostachys*. Tanto a espécie de bambu *Guadua angustifolia* como o solo controle removeram acima de 94% de fosfatos e nitrogênio amoniacal, diferindo estatisticamente dos bambus do gênero *Phyllostachys*, que obtiveram efetividade inferior a 90%.

Analisando-se a remoção de coliformes termotolerantes, apenas a espécie de bambu *Guadua angustifolia* demonstrou-se com boa eficiência (acima de 92,0%) na remoção desse grupo de microrganismos. Nos módulos controle, sem vegetação, e naqueles com as espécies do gênero *Phyllostachys*, a eficiência de remoção média desses patógenos foi inferior a 72,0%. O tratamento com *Guadua* foi mais eficiente que os demais, embora não tenha diferido estatisticamente do tratamento testemunha (apenas solo). Todos os tratamentos reduziram as concentrações de coliformes de 10⁵ para 10⁴.

Igualmente aos demais parâmetros anteriormente citados, a turbidez apresentou significativa redução em todos os tratamentos (com e sem plantas), com eficiência média mínima de 80,0%, novamente destacando-se a espécie *Guadua angustifolia* (acima de 96,0%). O tratamento com *Guadua* foi mais eficiente que os demais, embora não tenha diferido estatisticamente do tratamento com *Phyllostachys aurea*.

Conclusões

1. As espécies de bambu avaliadas apresentaram significativa eficiência na remoção de poluentes de ambos os tipos de águas residuárias, industrial e sanitária.
2. O gênero *Guadua* foi o mais eficiente no tratamento de ambos os tipos de águas residuárias.
3. As espécies vegetais do gênero *Phyllostachys* não se adaptaram ao tratamento do esgoto sanitário nas condições a que foram submetidas (alagado construído), ocorrendo morte de alguns exemplares da espécie *P. aurea*.
4. A eficiência de tratamento de águas residuárias apenas com o uso de solo foi inferior ao tratamento com bambus dos gêneros *Guadua* e *Dendrocalamus*, todavia foi semelhante ou superior às espécies vegetais do gênero *Phyllostachys*.
5. Há a real possibilidade de utilização de espécies de bambu no tratamento de esgoto, seja de origem sanitária ou industrial.

Referências

- ALMEIDA, R.A. Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes. Tese de doutorado. Goiânia: Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, 2005.
- ALMEIDA, R.A.; PITALUGA, D.P.S.; REIS, R.P.A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, 16(1), 73-81, 2010.
- ALMEIDA, R.A.; UCKER, F.E. Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de estações de tratamento de esgoto com plantas. **Revista Engenharia Ambiental**, v.8, n.4, p.39-45, 2011.
- BRASIL, M.S.; MATOS, A.T.; SOARES, A.A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Typha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 12(3), 266-272, 2007.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2011.
- KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009.

- MANAHAN, S.E. **Química ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; BORGES, A.C.; MATOS, M.P. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 15(1), 83-92, 2010.
- MENDONÇA, E.A. Disposição de efluente de tratamento de esgoto Industrial em solo vegetado com bambu. Dissertação de mestrado. Goiânia: Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, 2010.
- NIKOLIĆ, V.; MILIĆEVIĆ, D.; MILENKOVIĆ, S. Wetlands, constructed wetlands and their's role in wastewater treatment with principles and examples of using it in Serbia. **Architecture and Civil Engineering**, 7(1), 65-82, 2009.
- PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H.; OLIJNYK, D.P.; KOSSATZ, B. **Eficácia dos sistemas de tratamento de esgoto doméstico e de água para consumo humano utilizando wetlands considerando períodos diferentes de instalação e diferentes substratos e plantas utilizados**. Relatório final. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- QUEGE, K.E. Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu. Dissertação de mestrado. Goiânia: Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, 2011.
- SILVA, S.C. "Wetlands construídos" de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgoto doméstico. Tese de doutorado. Brasília: Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2007.
- SPERLING, M. von. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

Apesar de sua versatilidade, o bambu é ainda uma planta pouco usada no Brasil. Nesse contexto, a Embrapa, empresa cujo foco principal é a geração de conhecimento e tecnologia para a agropecuária brasileira, decidiu organizar um livro que fosse além do potencial agrícola do bambu.

Esta obra tem como objetivo principal dar visibilidade aos diferentes estudos e às instituições que trabalham atualmente com bambu – comprovando que temos, sim, a massa crítica necessária para ampliar o uso do bambu no Brasil. O resultado obtido não poderia ter sido mais interessante: conseguimos reunir 41 artigos escritos por profissionais vinculados a dezenas de instituições espalhadas por todo o país, os quais abordaram desde a pesquisa básica até a pesquisa aplicada, passando pela multiplicação e adoção dos conhecimentos e tecnologias disponíveis.

Convidamos você a se juntar a nós nesse esforço de popularização dos estudos e usos do bambu. E que esta seja somente uma dentre as várias estratégias necessárias à consolidação da cadeia de valor dessa gramínea no Brasil.