

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.



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.

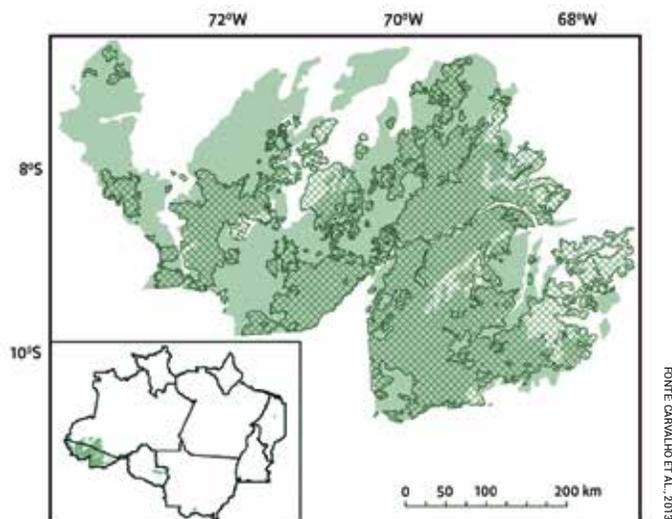


Figura 1. Áreas reticuladas referem-se a florestas abertas com bambu

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

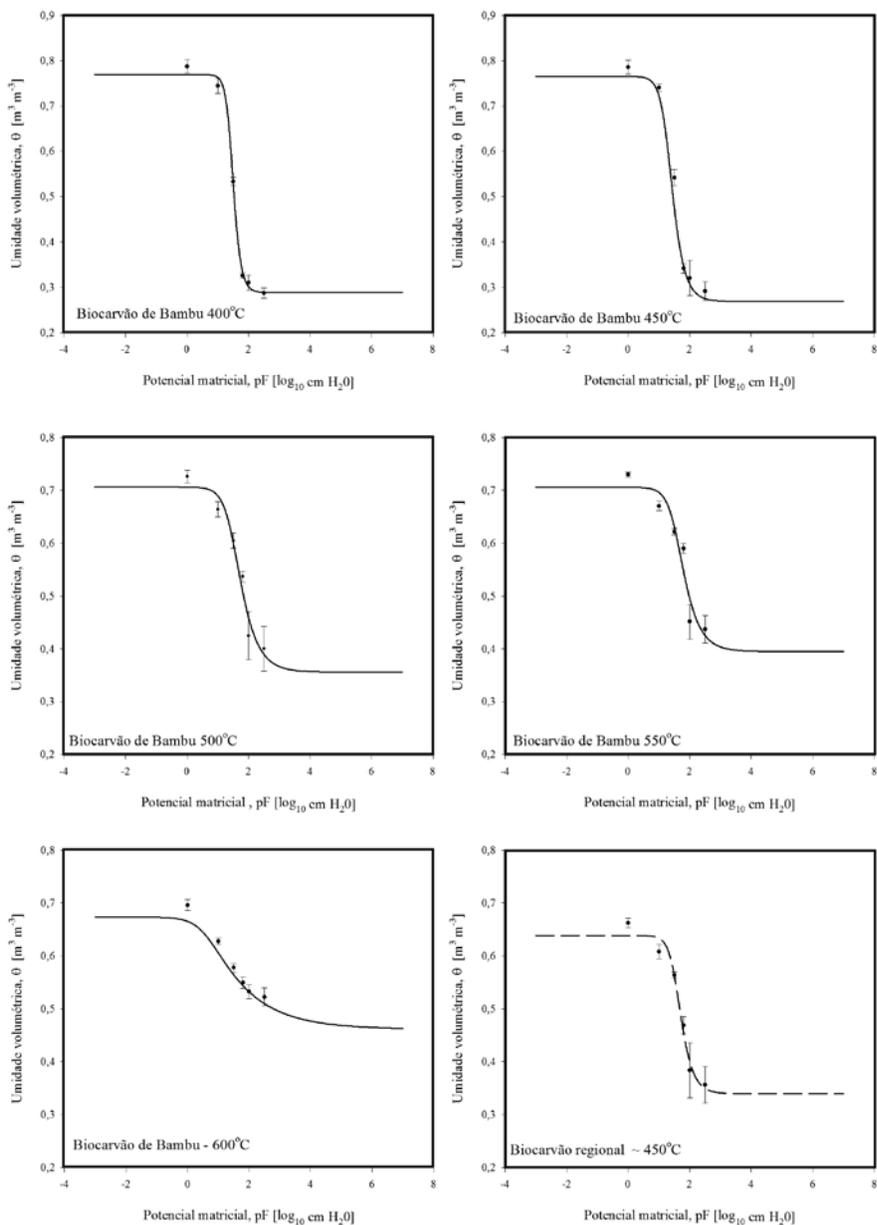


Figura 2. Curva de retenção de água de amostras de biocarvão de bambu produzidas a diferentes temperaturas e biocarvão de madeira. As barras são desvio padrão, amostras avaliadas em quintuplicata

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 (Donagema 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.; PÉCORA, 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.