

## **Eficiência energética do carvão vegetal de duas espécies de bambu de Santa Catarina**

**Taíse M. Rodrigues<sup>1</sup>, Martha A. Brand<sup>1</sup>, Angela Z. N. Gaa<sup>2</sup>, Ailton L. Balduino<sup>3</sup>, Lucas de L. Ribeiro<sup>1</sup>, Tarcisio F. de Camargo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, <sup>2</sup>Autônomo, <sup>3</sup>Unifacvest

E-mail: [taise.udesc@hotmail.com](mailto:taise.udesc@hotmail.com)

**Resumo:** Com o crescente aumento da demanda por energia proveniente da biomassa, o bambu emergiu como uma alternativa promissora. Este estudo examinou as propriedades energéticas do carvão vegetal das espécies *Phyllostachys edulis* (Carrière) J.Houz e *Phyllostachys nigra* Muchisasa, ambas com três anos de idade, coletadas na colônia japonesa em Frei Rogério, SC. O objetivo deste trabalho foi avaliar o carvão vegetal, verificando seu potencial energético e comparando sua eficiência entre espécies. Foram selecionados cinco indivíduos de cada espécie. Como resultados, a qualidade do carvão vegetal variou entre as duas espécies, apresentando rendimento gravimétrico adequado e semelhante de 33,39% para o *P.edulis* e 34,84% para o *P.nigra*. Quando comparado a eficiência do carvão vegetal com os parâmetros da Resolução de São Paulo para o Selo Premium, o *P.nigra* teve melhor desempenho, não alcançado apenas o parâmetro mínimo de teor de cinzas com 3,21%.

**Palavras-chave:** *Phyllostachys nigra*, *Phyllostachys edulis*, Biomassa, Resolução de São Paulo.

### **Energy efficiency of charcoal from two bamboo species in Santa Catarina**

**Abstract:** With the increasing demand for energy derived from biomass, bamboo has emerged as a promising alternative. This study examined the energetic properties of charcoal from the species *Phyllostachys edulis* (Carrière) J.Houz and *Phyllostachys nigra* Muchisasa, both three years old, collected in the Japanese colony in Frei Rogério, SC. The aim of this research was to evaluate the charcoal by assessing its energy potential and comparing its efficiency between the species. Five individuals of each species were selected. As a result, the quality of the charcoal varied between the two species, exhibiting an adequate and similar gravimetric yield of 33.39% for *P. edulis* and 34.84% for *P. nigra*. When comparing the charcoal efficiency against the parameters of the São Paulo Resolution for the Premium Seal, *P. nigra* demonstrated superior performance, missing only the minimum ash content parameter with 3.21%.

**Keywords:** *Phyllostachys nigra*, *Phyllostachys edulis*, Biomass, São Paulo Resolution

## **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente, o Brasil concentra grande esforço em produção de energia renovável. Entretanto ainda utiliza combustíveis fósseis para a sua produção, os quais apresentam características poluidoras que degradam o meio ambiente. Isso acontece

devido à falta de alternativas eficientes de fontes renováveis de energia, embora esse setor esteja em grande expansão no país (ANEEL, 2016).

A geração de energia através de biomassa, no Brasil, apresenta uma vantagem por ser um dos maiores produtores agrícolas e florestal. A utilização de materiais como a cana de açúcar, lenha de florestas energéticas ou manejadas, entre outros resíduos agrícolas, garantem a produção de biomassa (Dias *et al.*, 2012).

A quantidade de biomassa produzida no Brasil é significativa, com projeções apontando que poderá alcançar 1 gigatonelada até 2030. No entanto, muitos resíduos de biomassa gerados em diversas atividades são subutilizados, frequentemente sendo deixados para decomposição natural ou inexplorados (De Moraes, 2017).

O bambu é uma gramínea com um ciclo de crescimento mais curto em comparação com a lenha de florestas energéticas, como o pinus e o eucalipto. Além disso, ele não requer replantio, e suas técnicas de manejo e colheita são bastante simplificadas. O bambu também se adapta bem a diversas condições climáticas e tipos de solo.

Além de incluir um papel social, visando estabelecer famílias no meio rural, reduzindo o êxodo rural. Uma das alternativas criadas, foi sancionar a Lei nº 12.484, que dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), que não só estimula a fixação do homem no campo, como também incentiva a produção do bambu no país (BRASIL, 2011).

Ainda, considera-se que o bambu seja analisado como importante fator de conservação e recuperação ambiental, uma vez que controlam a erosão do solo através do seu estabelecimento (Delgado, 2011). Outros benefícios ecológicos são citados por Inbar (2014), como a regulação dos recursos hídricos, ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e abrigo de fauna.

Portanto, este trabalho visa impulsionar a utilização do bambu como biomassa, destacando seu potencial promissor, tendo como principal objetivo avaliar a eficiência energética através da biomassa de duas espécies de bambu, *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys nigra*, a partir do carvão vegetal.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Seleção, identificação e coleta do material**

O estudo foi realizado com duas espécies de bambu *P. edulis* e *P. nigra*. Para isso, foi coletado amostras de cinco indivíduos de cada espécie, selecionados aleatoriamente de um plantio com três anos de idade, na cidade de Frei Rogério, Santa Catarina.

Foram coletados os dados dendrométricos: diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total (Tabela 1). Posteriormente os indivíduos de cada espécie foram seccionados em porções de um metro de comprimento na base, na porção mediana e no topo dos colmos e devidamente identificados nessas posições.

**Tabela 1.** Dados dendrométricos das espécies *P. edulis* e *P. nigra*

<i>Phyllostachys edulis</i>						
Indivíduo	1	2	3	4	5	Média
DAP (cm)	7,96	7,64	7,80	8,28	8,12	7,96
Altura total (m)	16,4	16,8	16,84	16,55	16,44	16,61
<i>Phyllostachys nigra</i>						
Indivíduo	1	2	3	4	5	Média
DAP (cm)	8,28	7,64	7,32	7,96	7,16	7,67
Altura total(m)	15,9	15,6	15,8	15,86	15,6	15,75

## 2.2 Carbonização

A partir dos colmos *in natura* foram confeccionados 10 corpos de prova com dimensões de 2 cm de largura por 4 cm de comprimento e espessura da parede do colmo de cada seção (base, meio, topo) por indivíduo para a produção do carvão vegetal das espécies de *P. edulis* e *P. nigra*.

Para o processo de carbonização, cada amostra foi embrulhada em papel alumínio. As amostras foram carbonizadas em mufla, utilizando uma rampa de aquecimento (Tabela 2).

**Tabela 2.** Rampa de carbonização para a produção de carvão vegetal das espécies

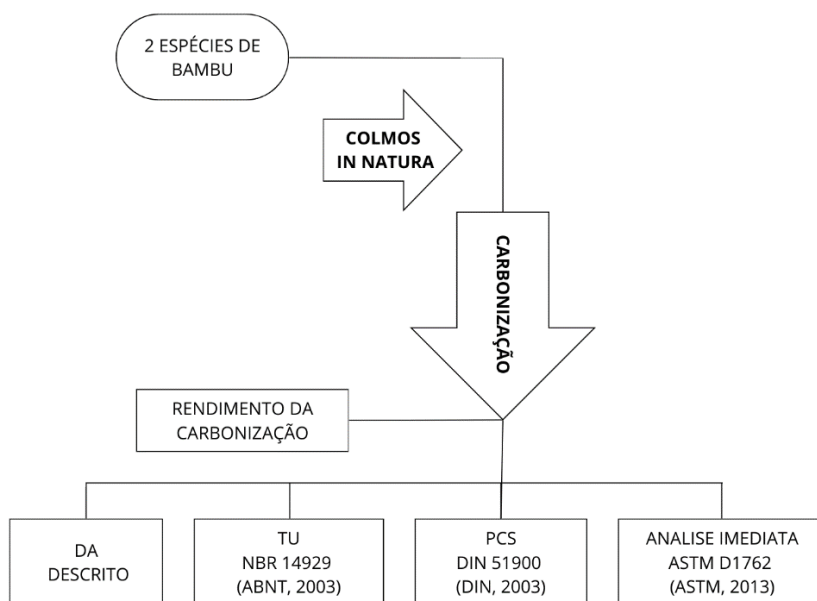
Tempo (h)	Início	00:20	01:27	03:04	04:48	06:02	06:32
Temperatura (°C)	25	150	200	250	350	450	450
Taxa de aquecimento (°C/min)	-	7,5	2,3	1,36	1,22	1,24	-

## 2.3 Propriedades analisadas

Após a carbonização, a massa das amostras foi determinada em balança de precisão para obtenção do rendimento gravimétrico. De cada amostra carbonizada, foram retiradas sub amostras para a determinação da densidade aparente do carvão.

A densidade aparente foi determinada pela relação entre a massa e o volume, obtido pelas medidas dos corpos de prova no teor de umidade do carvão, após carbonização. As demais propriedades analisadas foram obtidas conforme normas técnicas (Figura 3).

**Figura 3.** Fluxograma das atividades



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 4, correspondem a valores médios do rendimento da carbonização, teor de umidade do carvão vegetal (TU) e densidade aparente do carvão vegetal (DA) das espécies estudadas.

**Tabela 4.** Rendimento da carbonização, teor de umidade e densidade aparente a partir da carbonização das espécies

Espécie	Porção	Rendimento Carbonização (%)	TU (%)	DA (kg/m <sup>3</sup> )
Phyllostachys edulis	Base	32,78	10,18	513
	Meio	33,28	9,95	598
	Topo	34,11	9,13	625
	<b>Média</b>	<b>33,39</b>	<b>9,75</b>	<b>579</b>

<i>Phyllostachys nigra</i>	Base	34,62	4,23	419
	Meio	34,66	4,26	451
	Topo	35,15	4,73	546
	<b>Média</b>	<b>34,84</b>	<b>4,40</b>	<b>472</b>

Valores superiores a 30% do rendimento na carbonização são considerados resultados desejados pelas indústrias (Zanuncio *et al.*, 2014; Loureiro *et al.*, 2019), reconhecendo o potencial das espécies de bambu estudadas.

Para *P. edulis* e *P. nigra* observou-se que o rendimento gravimétrico foi maior na seção do topo, diferente do que encontrou Junior Balduino (2016), que para suas espécies encontrou rendimento gravimétrico superior na base para *Bambusa vulgaris* de 37,39% e no topo para *Phyllostachys bambusoides* de 33,60%.

Segundo Costa (2004), o teor de umidade na produção do carvão tem influência significativa, tornando o mesmo quebradiço, aumentando o seu teor de finos e reduzindo a sua resistência mecânica.

O teor de umidade do carvão vegetal das duas espécies analisadas mostrou comportamento bem diferente entre elas. Para o teor de umidade do carvão a referência para geração de energia desejada é que ele seja menor que 5% (São Paulo, 2003), para a espécie de *P. edulis* foi encontrado valor médio de 9,75% bem acima do valor desejado e para a espécie de *P. nigra* foi encontrado valor médio de 4,40% estando abaixo do valor de referência o que traz uma vantagem para a geração de energia a essa espécie. Junior Balduino (2016), encontrou para suas espécies valores de teor de umidade para o carvão vegetal abaixo do valor de referência, 4,56% para *Bambusa vulgaris* e 4,51% para *Phyllostachys bambusoides*.

Foi observado que o teor de umidade do carvão vegetal diminui da base para o topo na espécie de *P. edulis* o que não ocorreu para a espécie de *P. nigra* que teve o teor de umidade do carvão vegetal aumentando da base para o topo.

Para a produção de carvão vegetal dos bambus, quanto maior a densidade mais desejável será para a geração de energia, pois resultará em um carvão mais denso o que se espera para a qualidade desse produto segundo Brito *et al.*, (1987). A densidade das espécies estudadas neste trabalho foi considerada alta para *P. edulis* de 579 kg/m<sup>3</sup> e para *P. nigra* de 472 kg/m<sup>3</sup>. Frederico (2009), trabalhando com *Eucalyptus grandis* e híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, encontrou valores de densidade aparente de carvão vegetal entre 285 e 323 kg/m<sup>3</sup>, inferiores aos encontrados neste estudo.



Foi observado que para essas duas espécies a densidade aumenta da seção da base para o topo, o que também foi observado por Junior Balduino (2016), para suas espécies de bambu analisadas.

Os resultados apresentados na Tabela 5 correspondem a valores médios do teor de voláteis (TV), teor de carbono fixo (TCF), teor de cinzas (TC) e poder calorífico superior (PCS) das espécies estudadas.

**Tabela 5.** Análise imediata e PCS das espécies

Espécie	Porção	TV (%)	TCF (%)	TC (%)	PCS (kcal/kg)
<i>Phyllostachys edulis</i>	Base	24,5	73,59	1,92	7431
	Meio	24,74	73,22	2,04	7391
	Topo	26,02	72,47	1,51	7285
	<b>Média</b>	<b>25,09</b>	<b>73,09</b>	<b>1,82</b>	<b>7369</b>
<i>Phyllostachys nigra</i>	Base	20,55	75,74	3,71	7563
	Meio	20,86	76,53	2,61	7711
	Topo	21,46	75,24	3,3	7461
	<b>Média</b>	<b>20,95</b>	<b>75,84</b>	<b>3,21</b>	<b>7578</b>

O Selo Premium, estabelecido pela Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003, no estado de São Paulo, exige que o teor de carbono fixo seja superior a 75%, e que os teores de materiais voláteis e de cinzas sejam inferiores a 23,5% e 1,5%, respectivamente (São Paulo, 2003).

O valor médio para o teor de voláteis do *P. nigra* é considerado o desejado para geração de energia, já para *P. edulis* apresentou valor médio superior ao da Resolução paulista.

Junior Balduino (2016), encontrou em seus estudos teor de voláteis médio alto para suas espécies em torno de 27,55% para *Bambusa vulgaris* e 27,26% para *Phyllostachys bambusoides*, ambas superior ao determinado pelo Selo Premium.

Para os valores médio de teor de carbono fixo novamente o *P. nigra* se enquadra na Resolução paulista, enquanto o *P. edulis* não alcança o valor mínimo desejado.

Em seu estudo Junior Balduino (2016), para suas espécies encontrou teor de carbono fixo baixo em relação a este estudo já Costa (2004), encontrou valores de 78% para a espécie *Bambusa vulgaris*.

O teor de cinzas de ambas as espécies ficou acima do desejado segundo a Resolução de São Paulo. Junior Balduino (2016), também encontrou valores acima do desejado para suas espécies sendo encontrado teor de cinza médio para *Phyllostachys bambusoides* de 1,65% e para *Bambusa vulgaris* de 5,12%. Brand *et al.* (2013) obtiveram valores médios de 1,35% de teor de cinza no carvão de *Miconia cinnamomifolia*.

Para o poder calorífico superior Brand *et al.* (2013) encontrou valores inferiores para o carvão vegetal da espécie *Miconia cinnamomifolia* (6267 kcal/kg), já Junior Balduino (2016), encontrou um comportamento similar ao apresentado pelo *P. edulis* em que o PCS diminui da base para o topo para as espécies *Phyllostachys bambusoides* e *Bambusa vulgaris*, com uma média de 7587 kcal/kg e 7431 kcal/kg respectivamente, sendo similar a média do *P. nigra* e superior ao *P. edulis*.

#### 4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir com o desenvolver deste trabalho:

- ✓ A qualidade do carvão vegetal variou entre as duas espécies;
- ✓ Ambas as espécies apresentaram um bom rendimento de carbonização;
- ✓ *Phyllostachys nigra* teve um melhor desempenho quando comparada a Resolução de São Paulo, não tendo atendido apenas o parâmetro mínimo de teor de cinzas;

#### 5. REFERÊNCIAS

ANEEL. Biomassa - Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2016. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acesso em: 13 de julho de 2024.

BRAND, M. A. *et al.* Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. *Scientia Forestalis*, v.41, n.99, p.401-410, 2013.

BRASIL. LEI Nº 12.484 DE 8 DE SETEMBRO DE 2011. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm)>. Acesso em 13 de julho de 2024.

BRITO, J. O. *et al.* Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. IPEF, Piracicaba, n. 36, p. 13-17, ago. 1987.

COSTA, T. M. S. **Estudo da Viabilidade Técnica do Emprego do Bambu da Espécie *Bambusa vulgaris* Shard. como Carvão Vegetal.** Dissertação (Mestre em ciências na área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DE MORAES, S. L. *et al.* Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 4, 2017.

DELGADO, P. S. **O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto. 2011.

DIAS, J.M.C de S. *et al.* Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Embrapa Agroenergia-Documents (INFOTEC-A-E), 2012.

FREDERICO, P.G.U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake 2009.** 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

INBAR. INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN. CAN BAMBOO TRANSFORM BIOENERGY? October 15, 2014. Disponível em: <<http://www.inbar.int/2014/10/can-bamboo-transform-bioenergy/>> Acesso em 13 de julho de 2024.

JUNIOR BABUINO, A. L. **Avaliação do potencial energético da biomassa de duas espécies de bambu cultivadas em Santa Catarina.** Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2016.

LOUREIRO, B. A. *et al.* **Selection of superior clones of *Corymbia* hybrids based on wood and charcoal properties.** Maderas. Ciencia y Tecnología, Concepción, v. 21, n. 4, p. 619-630, Aug. 2019.

SÃO PAULO. Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 11 jul. 2003. Disponível em: <[https://codeagro.agricultura.sp.gov.br/arquivos/selo/saa\\_1031a0ff69a85454e1cde89c327ac490f5.pdf](https://codeagro.agricultura.sp.gov.br/arquivos/selo/saa_1031a0ff69a85454e1cde89c327ac490f5.pdf)> Acesso em: 01 agosto 2024.

ZANUNCIO, A. J. V. *et al.* Secagem ao ar livre da madeira para produção de carvão vegetal. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 401-408, maio 2014.