

## **AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE ENERGÉTICA DO FUSTE E DO GALHO DO CLONE DE *Eucalyptus* SPP.**

Renata Carvalho da Silva<sup>1</sup>; Karolayne Ferreira Saraiva<sup>2</sup>; Júlia Gabriela do Nascimento Mendes<sup>2</sup>; Bruna Karollyne Santana Gomes<sup>2</sup>; Dimas Agostinho da Silva<sup>1</sup>; Raquel Marchesan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Curitiba, PR, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia Florestal, Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Gurupi, TO, Brasil

\* e-mail do autor correspondente: rcarvalhosilva.florestal@gmail.com\*

**Resumo:** O objetivo desta pesquisa foi caracterizar e avaliar as propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal do fuste e do galho de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus gradis*. Para a caracterização da madeira do fuste e do galho foram selecionadas 3 árvores pelo método aleatório simples, de onde foram obtidos discos com espessura de 5 cm (base, meio e topo), destas mesmas árvores foram obtidas a madeira dos galhos. A madeira do fuste de *E. urophylla* x *E. gradis* apresentou potencial para produção de energia quando comparado com a madeira do galho. Recomenda-se o carvão vegetal da madeira do fuste de *E. urophylla* x *E. gradis*, pois o mesmo apresentou maior rendimento total em carvão vegetal (32,83%) e carbono fixo (74,44%), além alto do poder calorífico superior (7411,01 kcal/kg) quando comparado com o carvão vegetal obtido da madeira do galho. Porém, a madeira obtida dos galhos também possui potencial para a produção de carvão vegetal.

**Palavras-chaves:** Carvão vegetal. Caracterização da madeira. Produção de energia.

### **EVALUATION OF THE ENERGY QUALITY INDICES OF THE STEM AND BRANCH OF *Eucalyptus* SPP.**

**Abstract:** The objective of this research was to characterize and evaluate the energetic properties of wood and charcoal from the stem and branch of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus gradis*. For the characterization of the wood of the trunk and branch, 3 trees were selected by the simple random method, from which discs with a thickness of 5 cm (base, middle and top) were obtained, from these same trees the wood of the branch was obtained. The *E. urophylla* x *E. gradis* stem wood presented potential for energy production when compared to the branch wood. Charcoal from the wood of the *E. urophylla* x *E. gradis* stem is recommended, as it had the highest total yield in charcoal (32.83%) and fixed carbon (74.44%), in addition to the high calorific value (7411.01 kcal/kg) when compared with charcoal obtained from the wood of the branch. However, the wood obtained from the branches also has potential for the production of charcoal.

**Keywords:** Charcoal. Energy production. Wood characterization.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os plantios florestais, do gênero *Eucalyptus* spp. representa 78% das florestas plantadas do Brasil, atualmente, o cultivo de espécies e clones de *Eucalyptus* spp. abrange regiões além daquelas tradicionais, o que levanta a necessidade de se obter mais informações sobre a produção esperada desses novos plantios [14]. O estado do Tocantins também foi considerado o segundo maior produtor de lenha da região norte, produzindo 805.512 m<sup>3</sup> em madeira de extração e 28.470 m<sup>3</sup> em madeira oriunda da silvicultura. Dentre as espécies e clones que são utilizadas em florestas plantadas no estado, o clone *E. urophylla* x *E. grandis* se destaca em diversas regiões [11].

A partir da percepção de que o gênero de *Eucalyptus* spp. pode configurar uma eficiente fonte de biomassa para produção de energia, é necessário conhecer as propriedades energéticas [14], haja vista que para o estado do Tocantins não há uma espécie definida para plantio de florestas

energéticas. Diante do aumento do consumo de carvão vegetal de florestas plantadas e conseqüentemente destas áreas, torna-se necessário considerar um melhor aproveitamento deste recurso. De acordo com [7], além do fuste, as raízes e os galhos das árvores também são utilizados para a produção de carvão vegetal. No entanto, existem poucos estudos sobre as características energéticas destes materiais.

Neste sentido, esta pesquisa teve por objetivo determinar as propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal do fuste e do galho de *E. urophylla x E. gradis*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal do Tocantins, no município de Gurupi, Tocantins. As madeiras do fuste e do galho foram coletadas no plantio experimental aos 13 anos de idade da Fazenda Água Franca (Fazenda Experimental da UFT), localizada na porção Sul do estado sob as coordenadas geográficas latitude: 11°46'19,89" Sul e longitude: 49°03'03,12" Oeste.

Foram selecionadas 3 árvores pelo método de amostragem aleatória simples conforme [16] dos quais foram obtidos 3 discos por árvore com espessura de 5 cm da base, DAP e topo. Destas mesmas árvores foram selecionados os galhos, dos quais os mesmos passaram pelo processo de desfolha e posteriormente foram obtidos discos de 5 cm, respectivamente. A madeira e carvão vegetal foram moídos e as partículas foram peneiradas para as análises químicas e energéticas.

O teor de umidade em base seca foi determinado conforme NBR 7190 [4]. Determinou-se a densidade básica da madeira ASTM D-2395 [2]. A análise da química imediata da madeira foi determinada ASTM D 1762-84 [3] e ABNT NBR 8112/83 [5]. O poder calorífico superior da madeira foi estimado conforme [9] e o poder calorífico inferior e útil foram calculados [6]. A densidade energética da madeira, estoque de carbono da madeira foram calculados [12]. O carbono, hidrogênio e oxigênio elementar foram estimados de acordo [13].

A produção do carvão vegetal se deu por meio do processo de pirólise da madeira em um forno tipo mufla com temperatura final de 500°C, uma taxa de aquecimento de 5°C/min e tempo total de 5h30min. Foram determinados o rendimento gravimétrico total, a densidade a granel do carvão vegetal [8]. A composição química imediata do carvão vegetal foi realizada ASTM D 1762-84 [3] e ABNT NBR 8112/83 [5]. Foram calculados o poder calorífico superior [15], densidade energética, estoque de carbono fixo e rendimento da carbonização do carvão vegetal [12].

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, considerando-se fuste e o galho para temperatura final de carbonização de 500°C. Foi realizado o teste de normalidade e análise de variância (ANOVA). O teste de Tukey foi realizado para a comparação das médias a nível de 5% de probabilidade, no programa estatístico Sisvar.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios para as propriedades energéticas das madeiras do fuste e do galho de *E. urophylla* x *E. gradis*, respectivamente. Observa-se pelo teste de Tukey efeito significativo entre a madeira do fuste e galho de *E. urophylla* x *E. gradis* ( $p \geq 0,05$ ) para os parâmetros avaliados. O teor de umidade apresentou valores aceitáveis para produção de energia tanto para madeira do fuste quanto para madeira do galho, pois o teor de umidade da biomassa para queima direta deve ser inferior a 40%, respectivamente [8].

Tabela 1: Propriedades energéticas das madeiras do fuste e do galho de *E. urophylla* x *E. gradis* aos 13 anos de idade.

<i>E. urophylla</i> x <i>E. gradis</i>	Biomassa		CV (%)	Pr>F <sub>c</sub>
	Fuste	Galho		
Teor de Umidade (%)	10,00 a	8,36 b	1,42	*
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,57 a	0,47 b	8,04	*
Teor de material voláteis (%)	83,11 b	87,58 a	1,10	*
Teor de carbono fixo (%)	16,95 a	12,19 b	5,99	*
Teor de cinzas (%)	0,10 b	0,23 a	17,40	*
Poder calorífico superior (kcal/kg)	4529,13 a	4295,81 b	0,90	*
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	4205,13 a	3968,81 b	0,97	*
Poder calorífico útil (kcal/kg)	2496,43 a	2344,14 b	1,05	*
Densidade energética (kcal/cm <sup>3</sup> )	22576,99 a	2017,05 b	8,70	*
Carbono (%)	48,61 a	47,61 b	1,13	*
Hidrogênio (%)	6,03 a	6,06 a	0,24	ns
Oxigênio (%)	44,71 b	45,39 a	0,41	*
Estoque em carbono (kg/m <sup>3</sup> )	276,57 a	223,58 b	8,32	*

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação.

Nota-se que a densidade básica e estoque de carbono da madeira do fuste apresentaram as maiores médias quando comparado com a madeira do galho. Assim sendo, objetivando obter carvão mais denso, com maior densidade energética, maior quantidade de carbono fixo por volume e maior resistência nos fornos siderúrgicos recomenda-se a carbonização da madeira do fuste.

A madeira do fuste e do galho apresentaram altos teores de materiais voláteis o que influenciou no baixo teor de carbono fixo (Tabela 1). O teor de cinzas da madeira neste estudo tanto para o fuste como para o galho encontra-se com médias aceitáveis para geração de energia, pois os mesmos apresentaram médias inferiores a 5%, respectivamente (Tabela 1), pois o teor de cinzas inferior a 5% [6]. Observa-se que poder calorífico superior, inferior e útil da madeira do fuste de *E. urophylla* x *E. gradis* encontram-se dentro no recomendado para produção de energia. Os componentes químicos elementares apresentam valores conforme o recomendado pela literatura para madeira do fuste e do galho [13]. O que pode ter influenciado para que a madeira do fuste

apresentasse maior poder calorífico superior pois a mesma apresentou a maior média para o elemento carbono quando comparado com a madeira do galho (Tabela 1).

Observa-se na Tabela 2 os valores médios para as propriedades energéticas do carvão vegetal da madeira do fuste e do galho de *E. urophylla* x *E. gradis*, respectivamente.

Tabela 2: Propriedades energéticas do carvão vegetal da madeira do fuste e do galho de *E. urophylla* x *E. gradis* aos 13 anos de idade.

<i>E. urophylla</i> x <i>E. gradis</i>	Pirólise 500°C		CV (%)	Pr>Fc
	Fuste	Galho		
Densidade a granel (g/cm <sup>3</sup> )	0,18	0,15	-	-
Rendimento gravimétrico total (%)	32,83	28,14	-	-
Teor de materiais voláteis (%)	25,49 b	28,43 a	3,4	*
Teor de carbono fixo (%)	74,44 b	70,13 c	1,17	*
Teor de cinzas (%)	0,07 c	1,44 a	6,97	*
Poder calorífico superior (kcal/kg)	7411,01 b	7267,65 c	0,39	*
Densidade energética (kcal/cm <sup>3</sup> )	1307,67 b	1074,25 c	0,35	*
Estoque em carbono fixo (kg/m <sup>3</sup> )	131,35 b	103,66 c	1,06	*
Rendimento da carbonização (%)	53,72 a	47,65 b	0,92	*

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV (%): Coeficiente de variação.

A densidade a granel do carvão vegetal do fuste e do galho apresentaram valores médios a baixos, o que pode ter sido afetado pela temperatura final de carbonização. O rendimento total em carvão vegetal encontra-se dentro do recomendado para o carvão vegetal proveniente da madeira do fuste (Tabela 2), pois o mesmo encontra-se com o rendimento gravimétrico acima de 30% [8].

Verifica-se que os valores médios diferiram estatisticamente ( $p \geq 0,05$ ) para o teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas do carvão obtido da madeira do fuste e do galho. Nota-se para o teor de materiais voláteis do carvão vegetal que o mesmo apresentou-se alto para o carvão obtido da madeira do galho quando comparado com a madeira do fuste e que conseqüentemente o teor carbono fixo do carvão vegetal proveniente do fuste apresentou maior valor médio (Tabela 2). O teor de cinzas do carvão vegetal do fuste encontra-se com valores médios aceitáveis para produção de energia (Tabela 2).

O carvão vegetal do fuste apresentou valor médio de poder calorífico maior do que o carvão vegetal produzido do galho (Tabela 2). Este fato poder ocorrido devido ao baixo teor de materiais voláteis e alto teor de carbono fixo. Em relação a densidade energética, estoque de carbono e rendimento da carbonização do carvão vegetal da madeira da espécie avaliada, os mesmos apresentaram médias aceitáveis para o carvão vegetal obtido do fuste e do galho, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÃO

A madeira do fuste de *E. urophylla* x *E. gradis* apresentou características satisfatórias tanto para queima direta quanto para produção de carvão vegetal. O carvão obtido do fuste apresentou

maior rendimento total em carvão vegetal e carbono fixo, além alto poder calorífico superior. Deste modo a madeira do fuste foi considerada com maior potencial para produção de energia.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9156: determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985. 8 p.
- [2] American Society For Testing And Materials. ASTM D-2395: Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. Philadelphia, p.8, 2005.
- [3] American Society For Testing And Materials - ASTM. ASTM D 1762-84: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, p.2, 2007.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira- Rio de Janeiro, 1997.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8112: Carvão vegetal–Análise imediata. Brasília, 1983.
- [6] Brand, MA. Energia de Biomassa Florestal. 1ed. Editora Interciência, 2018. 131p.
- [7] Costa, ACLA. Caracterização físico-química da biomassa de tocos e raízes de clones de eucalipto para fins energéticos. (2019).
- [8] COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental – MG. Deliberação Normativa COPAM n° 227, Minas Gerais, 2018.
- [9] Deutsches Institut Für Normung - DIN EN 15103. Solid biofuels - determination of bulk density 2010 Edition, April 2010.
- [10] Ferreira, IT.; Schirmer, WN.; Oliveira MG.; Gueri, MVD. Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. Revista Brasileira de Energias Renováveis 2014, (3): 284-297.
- [11] Lustosa, FODS. Uso de geotecnologia na análise da dinâmica da eucaliptocultura para produção de carvão vegetal na região do Bico do Papagaio no estado do Tocantins. 2020. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2020.
- [12] Protásio, TDP.; Couto, AM.; Trugilho, PF.; Junior, JBG.; Junior, PHL.; Silva, MMO. Technological evaluation of charcoal from the wood of young clones of *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. Scientia Forestalis 2015, 43(108): 801-816.
- [13] Parikh, J.; Channiwala, SA.; Ghosal, G.K. A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. Fuel 2007, (86): 1710–1719.
- [14] Simioni, FJ.; Buschinelli, CCA.; Deboni, TL.; Passos, BM. (2018) – Cadeia produtiva de energia de bio-massa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva – SP. Ciência Florestal 2018, 1(28): 310-323.
- [15] Vale, AT.; Abreu, VLS.; Gonzalez, JC.; Costa, AF. Estimation of the Higher Calorific Power of Charcoal from *Eucalyptus grandis* woods as a function of Fixed Carbon Content and Volatile Material Content. Revista Brasil Florestal 2002, (73).
- [16] Wastowski, AD. Química da madeira.1 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2018. 566p.