

## PIRÓLISE DE ESPÉCIES NÃO COMERCIAIS DE *EUCALYPTUS* E *CORYMBIA*

Paulo Fernando Trugilho\*; Jonas Zefanias Massuque<sup>1</sup>; Natalia Moraes Mazzuchi<sup>1</sup>; Thaiane de Abreu Salgado<sup>1</sup>; Paulo Henrique Muller da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras/MG, Brasil.

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), Piracicaba/SP, Brasil.

\* e-mail do autor correspondente: [trugilho@ufla.br](mailto:trugilho@ufla.br)

**Resumo:** O objetivo do trabalho foi avaliar os rendimentos gravimétricos da pirólise da madeira de espécies não comerciais de *Eucalyptus* e *Corymbia* com 6 anos de idade e a qualidade do carvão produzido para fins industriais. Duas espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia* foram utilizadas na pesquisa. A amostragem nas árvores consistiu na retirada de discos na base (0%), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial. Duas cunhas opostas por disco e posição longitudinal de amostragem foram utilizadas na pirólise e avaliação da qualidade do carvão produzido. O *C. henryi* e *E. longirostrata* foram as espécies de destaque em relação a densidade relativa aparente, teores de cinzas e carbono fixo e densidade energética, enquanto o *E. amplifolia* o de maior rendimento gravimétrico de carvão.

**Palavras-chave:** Qualidade; Novos materiais genéticos; Carvão vegetal; Siderurgia

### PYROLYSIS OF NON-COMMERCIAL *EUCALYPTUS* AND *CORYMBIA* SPECIES

**Abstract:** This study aimed to evaluate the gravimetric yields of wood pyrolysis from non-commercial species of *Eucalyptus* and *Corymbia* with 6 years-old and charcoal produced quality for industrial purposes. Two species of *Eucalyptus* and *Corymbia* were used in the research. Tree sampling consisted the removal of discs at base (0%), 25%, 50%, 75% and 100% of commercial height. Two opposing wedges per disc and longitudinal sampling position were used in the pyrolysis and evaluation of charcoal produced quality. *C. henryi* and *E. longirostrata* were the outstanding species in relation to apparent relative density, ash and fixed carbon contents and energy density, while *E. amplifolia* had the highest gravimetric charcoal yield.

**Keywords:** Quality; New genetic materials; Charcoal; Steel industry

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal do mundo. Este fato está associado ao uso pelas siderúrgicas para redução do minério de ferro e de outros produtos da metalurgia. O carvão vegetal destinado ao uso siderúrgico deve atender a padrões de qualidade em relação às suas

características químicas, físicas e energéticas. É desejável que o carvão possua elevada densidade, baixo teor de cinzas, teor de carbono fixo próximo de 75% e alto poder calorífico, além da elevada resistência mecânica. Tais características são influenciadas por variáveis de processo e associados à madeira.

As espécies de *Eucalyptus*, seus clones e híbridos são as matérias primas mais utilizadas na produção do carvão vegetal no Brasil. Entretanto, existe necessidade de introduzir novas espécies florestais com características de crescimento e de qualidade da madeira adequadas a esta finalidade. Atualmente, o gargalo das florestas energéticas de *Eucalyptus*, destinadas ao suprimento de matéria-prima para o setor siderúrgico, consiste no uso de clones ou espécies que, apesar do rápido crescimento volumétrico, não possuem madeira de alta densidade na idade de rotação, o que afeta negativamente, por exemplo, a densidade do carvão vegetal.

Novos materiais genéticos, com alta produtividade volumétrica de madeira, estão sendo introduzidos no Brasil no âmbito do programa corporativo de melhoramento florestal do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). Este programa visa avaliar novos genótipos superiores não comerciais de *Eucalyptus* e *Corymbia*, para identificar as espécies potenciais para uso energético. A busca por novos materiais genéticos é necessidade corrente, pois amplia a base genética no país e as possibilidades de obter genótipos mais adequados à produção de carvão vegetal, aumentando o rendimento gravimétrico e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa pelo setor siderúrgico.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os rendimentos gravimétricos da pirólise da madeira de espécies não comerciais de *Eucalyptus* e *Corymbia* com 6 anos de idade e a qualidade do carvão produzido para fins industriais.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material Genético e Amostragem**

Os materiais genéticos são provenientes de plantios experimentais de *Eucalyptus* e *Corymbia* (latitude 28° 48' e longitude 48° 54' e altitude de 711 m), em espaçamento de 3,0 x 2,6 m (7,8 m<sup>2</sup>), aos seis anos de idade, localizado no Município de Borebi, Estado de São Paulo, Brasil. Considerando a classificação de Köppen, o clima da região é tropical úmido com verões quentes e chuvosos, invernos secos e frios. A precipitação média anual é de 1350 mm e temperatura média de 21 °C.

O Projeto de Espécies Potenciais foi estabelecido em parcelas retangulares de 7 x 7 plantas, com 4 espécies do gênero *Corymbia* e 15 espécies do gênero *Eucalyptus*. Para o presente estudo foram selecionadas quatro espécies de melhor adaptabilidade (Tabela 1). A análise de

adaptabilidade foi realizada a partir dos dados de sobrevivência e crescimento inicial, utilizando-se o método da Média Harmônica da Performance Relativa do Valor Genético [13]. Sete árvores por espécie foram selecionadas. Nas árvores, a amostragem consistiu na retirada de discos de 2,5 cm de espessura nas posições longitudinais de 0% (Base), DAP (1,30m), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, considerada até o diâmetro mínimo de 4 cm. Os discos foram subdivididos em quatro cunhas, em que duas opostas são destinadas a carbonização e avaliação da qualidade do carvão produzido. O rendimento gravimétrico médio considerou todos os pontos longitudinais de amostragem e a análise das características de qualidade do carvão levou foi realizada em amostra composta de todas as posições no fuste da árvore.

Tabela 1. Espécies selecionadas para a pesquisa e suas características dendrométricas

Espécie	Subgênero	DAP (cm)	HC (m)	VCC (m <sup>3</sup> )
<i>Corymbia citriodora</i> subesp. <i>variegata</i>	<i>Ochraria</i>	23,2	22,2	0,497974
<i>Corymbia henryi</i>	<i>Ochraria</i>	23,2	22,7	0,502175
<i>Eucalyptus amplifolia</i>	<i>Symphyomyrtus Exsertaria</i>	18,4	16,8	0,248961
<i>Eucalyptus longirostrata</i>	<i>Symphyomyrtus Transversaria</i>	18,0	20,2	0,281055

DAP: Diâmetro aferido a 1,30 m do solo, HC: Altura comercial e VC: Volume comercial com casca.

## 2.2 Carbonização em Escala de Laboratório

As carbonizações foram realizadas em forno elétrico (mufla), com a madeira previamente seca em estufa calibrada a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , conforme procedimento descrito em [15]. Os rendimentos gravimétricos de carvão, líquido pirolenhoso e gás não condensável foram calculados em relação a massa seca de madeira.

## 2.3 Qualidade do Carvão Produzido

A qualidade do carvão vegetal produzido foi determinada pela utilização da análise química imediata, poder calorífico superior e densidade relativa aparente e energética. Os teores de materiais voláteis e cinzas foram obtidos pela norma D1762-84 [1]. O teor de carbono fixo foi calculado subtraindo de 100 os teores de materiais voláteis e cinzas.

O poder calorífico superior do carvão vegetal (PCS) foi determinado conforme a norma E711-87 [2], a densidade relativa aparente (DRA) pela norma NBR 11941 [3] e a densidade energética pela multiplicação do PCS pela DRA, expressa em  $\text{Gj m}^{-3}$ .

Na avaliação do experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos (espécies) e sete repetições (árvores amostra). Para a comparação múltipla foi utilizado o teste de Tukey em significância de 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise de variância mostrou que o efeito de espécie foi não significativo, em nível de 5% de probabilidade, para o rendimento gravimétrico em gás não condensável e teor de materiais voláteis. Na Tabela 2 encontram-se os valores médios das características avaliadas e o teste de comparação múltipla realizado.

Tabela 2: Valores médios das características avaliadas e o teste de comparação múltipla

Espécie	RGC	RLP	RGNC	DRA	TMV	TCZ	TCF	PCS	DE
CCV	32,74 b	47,97 A	19,29 a	0,422 A	25,80 a	1,11 A	73,09 b	31,02 B	13,10 a
CH	32,40 b	48,02 A	19,58 a	0,455 A	24,08 a	0,68 B	75,24 a	31,40 AB	14,29 a
EA	36,42 a	43,79 B	19,79 a	0,363 B	25,47 a	1,03 A	73,51 ab	31,63 A	11,50 b
EL	33,33 b	48,44 A	18,23 a	0,421 A	24,39 a	0,40 B	75,21 a	31,05 AB	13,07 a

CCV = *C. citriodora* subesp. *variegata*, CH = *C. henryi*, EA = *E. amplifolia*, EL = *E. longirostrata*, RGC, RLP e RGNC = rendimento gravimétrico de carvão, líquido pirolenhoso e gás não condensável (%), TMV, TCZ e TCF = teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo (%), PCS = poder calorífico superior ( $\text{Mj kg}^{-1}$ ) e DE = densidade energética ( $\text{Gj m}^{-3}$ ). Valores médios seguidos de mesma letra e fonte nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

O *Eucalyptus amplifolia* (EA) apresentou o maior e menor rendimento gravimétrico de carvão (RGC) e de líquido pirolenhoso (RLP), respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais materiais genéticos. O RGC do EA foi maior ao de clones de híbridos do cruzamento do *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* com 6 anos e 5 meses de idade e mesma marcha de carbonização [8], além de valor bem próximo do observado por [9], que trabalharam com madeiras nativas de Moçambique, e [7], carbonizando resíduos do manejo sustentável na Amazônia brasileira. Os valores médios de rendimentos gravimétricos encontram-se dentro do esperado para clones de eucaliptos plantados no Brasil [4, 5, 10, 11 e 14], porém menor que o observado por [15].

A densidade relativa aparente (DRA) foi elevada em todos os materiais genéticos e dentro do encontrado por [8] em clones de híbridos do cruzamento do *C. citriodora* x *C. torelliana* com 6 anos e 5 meses de idade. O *Eucalyptus longirostrata* apresentou carvão com DRA igual estatisticamente às espécies de *Corymbia*.

Duas espécies apresentaram teor de cinzas maior que 1% (*C. citriodora* subesp. *variegata* e *E. amplifolia*), porém foram menores que os encontrados por [7, 8 e 9]. Teor de cinzas menor que 1,5% são preferidos para o uso energético, para evitar a redução do poder calorífico do carvão e a contaminação do ferro gusa, além de poder contribuir com o desgaste estrutural no alto forno [12].

As espécies *C. henryi* e *E. amplifolia* apresentaram os maiores valores médios de carbono fixo. De acordo com [6], para a operação dos altos fornos siderúrgicos, é preferível teor de carbono fixo maior que 75%.

O poder calorífico superior (PCS), apesar do efeito significativo de espécie, não foi muito variável, enquanto a densidade energética (DE) apresentou comportamento similar a DRA. Os valores de PCS e DE encontram-se dentro do observado na literatura [7 e 8].

#### 4. CONCLUSÃO

As quatro espécies avaliadas apresentaram rendimentos gravimétricos e carvão de qualidade para o uso industrial, porém as espécies *C. henryi* e *E. longirostrata*, foram as de destaque em relação a densidade relativa aparente, teores de cinzas e carbono fixo e densidade energética;

O *E. amplifolia*, apesar do maior rendimento gravimétrico de carvão, apresentou baixa densidade relativa aparente e energética.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IPEF, CNPq, CAPES e FAPEMIG pelos auxílios logísticos e financeiros concedidos que viabilizaram a realização do trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] American Society for Testing and Materials-ASTM. D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. 2013; 2p. <https://doi.org/10.1520/D1762-84R13.2>.
- [2] American Society for Testing and Materials-ASTM. E711-87: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter. 2004; 8p. <https://doi.org/10.1520/E0711-87R04.2>.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. NBR 11941: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003; 6 p.
- [4] Botrel, M.C.G.; Trugilho, P.F.; Rosado, S.C.S.; Silva, J.R.M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de Eucalyptus. Revista Árvore, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.
- [5] Briseño-Uribe, K.C.; Carrillo-Parra, A.; Bustamante-García, V.; González-Rodríguez, H.; Foroughbachk, R. Firewood production, yield and quality of charcoal from *Eucalyptus camaldulensis* and *E. microtheca* planted in the semiarid land of northeast Mexico. International Journal of Green Energy. 2015; 12: 961-969.
- [6] Bruzual, C. F. Assessment of CO<sub>2</sub> mitigation potential, biomass use and plantation areas to sustain charcoal-ironmaking. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, 2015; 12 (4): 325-334.

- [7] Lima, M.D.R.; Simetti, R.; Assis, M.R.; Trugilho, P.F.; Carneiro, A.C.O; Bufalino, L.; Hein, P.R.G.; Protásio, T.P. Charcoal of logging wastes from sustainable forest management for industrial and domestic uses in the Brazilian Amazonia. *Biomass and Bioenergy*. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105804>.
- [8] Loureiro, B.A; Assis, M.R.; Melo, I.C.N.A.; Oliveira, A.F.F.; Trugilho, P.F. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp. para uso industrial. *Ciência Florestal*. 2021; 31 (1): 214-232.
- [9] Massuque, J.; Assis, M.R.; Loureiro, B.A.; Matavel, C.E.; Trugilho, P.F. Influence of lignin on wood carbonization and charcoal properties of Miombo woodland native species. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2021; <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01669-3>.
- [10] Neves, T.A.; Protásio, T.P.; Couto, A.M.; Trugilho, P.F.; Silva, V.O.; Vieira, C.M.M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2011; 31 (68): 319-330.
- [11] Reis, A.A.; Protásio, T.P.; Melo, I.C.N.A.; Trugilho, P.F.; Carneiro, A.C. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2012; 32 (71): 277-290.
- [12] Rousset, P.; Figueiredo, C.; Souza, M.; Quirino, W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. *Fuel Processing Technology*, 2011; 92 (10): 1890-1897.
- [13] Silva, P.H.M.; Araujo, M.J.; Lee D.J.; Bush, D.; Baroni, G.R.; Paula, R.C. Adaptability and stability of novel eucalypt species and provenances across environments in Brazil at two assessment. *New Forests*. 2021; <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09886-7>.
- [14] Soares, V.C.; Bianchi, M.L.; Trugilho, P.F.; Höfer, J.; Pereira, A.J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. *Cerne*. 2015; 21 (2): 191-197.
- [15] Trugilho, P.F.; Lima, J.T.; Mori, F.A; Lino, A.L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. *Cerne*. 2001; 7 (2): 104–114.