



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Iara Nobre Carmona

Universidade Federal de Lavras
iaranobrecarmona@gmail.com

Juliane da Silva Sampaio

Universidade Federal do Oeste do Pará
julianesampaio22@gmail.com

Saulo Ranon de Souza Coelho

Universidade Federal do Oeste do Pará
saulocoelho27@gmail.com

Victor Hugo Pereira Moutinho

Universidade Federal do Oeste do Pará
victor.ctmadeira@gmail.com

Fernando Wallase Carvalho Andrade

Universidade Federal do Oeste do Pará
engenheiro.fernandoandrade@gmail.com

Recebido em: 2019-10-04
Avaliado em: 2020-07-15
Aceito em: 2020-09-04

CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO CARVÃO VEGETAL DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* PLANTADOS NO OESTE DO PARÁ

RESUMO: Há ausência de informações sobre as características energéticas do carvão de eucaliptos plantados na região Amazônica. Não há pesquisas que definam parâmetros adequados para estes novos materiais visando os principais indicadores de qualidade energética. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização energética do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* proveniente de plantio na região de Monte Alegre, no oeste do estado do Pará. Foram utilizadas amostras de madeira de árvores de *Eucalyptus urograndis* com nove anos, carbonizadas a 500°C e a 1,7°C.min⁻¹. Avaliou-se o rendimento gravimétrico em carvão, densidade aparente, poder calorífico superior e teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas. Verificou-se a existência de potencial da espécie baseando-se nas características avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus urograndis*, Plantios, Parâmetros de qualidade.

ENERGETIC CHARACTERIZATION OF CHARCOAL OF *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* PLANTED IN WESTERN PARÁ

ABSTRACT: There is no information on the energetic characteristics of eucalyptus coal planted in the Amazon region. There are no studies that define suitable parameters for these new materials aiming at the main indicators of energy quality. The objective of this work was to perform the energy characterization of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* charcoal coming from planting in the region of Monte Alegre, western Pará State. Wood samples from *Eucalyptus urograndis* trees at nine years of age, carbonized at 500°C and at 1.7°C.min⁻¹. It was evaluated the gravimetric yield in coal, apparent density, higher calorific value and fixed carbon contents, volatile materials and ashes. The existence of potential of

the species was verified based on the characteristics evaluated.

KEYWORDS: *Eucalyptus urograndis*, Plantations, Quality parameters.

CARACTERIZACIÓN DE ENERGÍA DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* PLANTADA EN EL OESTE DE PARÁ

RESUMEN: Falta información sobre las características energéticas del carbón de eucalipto plantado en la región amazónica. No existe ninguna investigación que defina parámetros adecuados para estos nuevos materiales, apuntando a los principales indicadores de calidad energética. El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización energética del carbón vegetal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* desde la siembra en la región de Monte Alegre, en el oeste del estado de Pará. Se utilizaron muestras de madera de árboles de *Eucalypto urograndis* de nueve años, carbonizados a 500°C. y a 1.7°C.min⁻¹. Se evaluó el rendimiento gravimétrico en carbón, densidad aparente, mayor valor calorífico y contenido de carbono fijo, materiales volátiles y cenizas. La existencia del potencial de la especie se verificó con base en las características evaluadas.

PALABRAS CLAVES: *Eucalyptus urograndis*, Plantaciones, Parámetros de calidad.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de carvão vegetal do mundo, tendo a madeira de *Eucalyptus* como principal matéria prima. Os plantios de eucalipto ocupam 5,56 milhões de hectares no Brasil, área representativa de 71,9% do total de florestas plantadas no país (IBA, 2017). Entre os anos de 2009 a 2013, houve um aumento de 28% em relação ao número de plantios na região norte do País (IBA, 2014), em

função de fatores como preço da terra, atendimento de demanda de novas fábricas de celulose e indústrias siderúrgicas instaladas na região e maior proximidade com o mercado norte americano e europeu. Entretanto, a qualidade da matéria prima e dos seus produtos oriundos é desconhecida.

Estudar as características do carvão vegetal propicia a condução da escolha da madeira com propriedades desejáveis para sua conversão

energética (OLIVEIRA et al; 2010). Alguns autores já avaliaram as características energéticas do carvão vegetal de espécies do gênero *Eucalyptus* plantados na região sudeste do Brasil (NEVES et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; DIAS JÚNIOR et al., 2015; MOUTINHO et al., 2016; JESUS et al., 2017). Entretanto, não há literatura suficiente relacionando diferentes parâmetros de carbonização e a madeira de *Eucalyptus* plantada no norte do país, o que pode acarretar, por exemplo, no uso de parâmetros de carbonização inadequados para estes novos materiais.

No consumo de madeira para produção de energia, destaca-se o carvão vegetal, em decorrência da demanda do produto no setor siderúrgico. O Brasil, como grande produtor de ferro-gusa, tem alta demanda de carvão vegetal. Na Amazônia oriental, tem ocorrido crescimento da demanda por carvão vegetal visando atender os fornos de beneficiamento de minérios, principalmente ferro gusa. As empresas

da região amazônica dispõem de poucos estudos a respeito de espécies de eucalipto plantadas nesta área, principalmente as destinadas para fins energéticos, e as informações existentes dificilmente são divulgadas. Assim, pesquisas referentes a essas espécies com potencial para produção de carvão vegetal são essenciais para o sucesso da atividade na região.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização energética do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* proveniente de plantio na região de Monte Alegre, no oeste do estado do Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

O material testado é proveniente de plantio de *E. urophylla* x *E. grandis* com idade aproximada de 9 anos, em espaçamento 2,0 m x 2,5 m, pertencente à empresa CALTARÉM, localizada no Km 29 da PA 423, Serra Tajurí, gleba Mulata sob as coordenadas 1°45'38" S 54°01'43" W, situada na cidade de Monte Alegre, região oeste do Pará.

Para este estudo, foram utilizadas amostras de quatro árvores, sendo que para cada uma foram retirados discos de 50 mm de espessura e de diferentes alturas do fuste (base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100%).

De cada disco foram retirados corpos-de-prova de 20 mm x 20 mm x 40 mm (T x R x L) isentos de defeitos, que foram acondicionados até umidade de equilíbrio em sala de climatização a $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e $21 \pm 3^\circ\text{C}$ de temperatura. Posteriormente, estes foram secos em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante e pesados em balança de precisão para determinação da massa seca. No total, foram utilizados cinco corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova, logo após secos, foram inseridos em retorta cilíndrica de metal inox e submetidas à carbonização em forno elétrico (mufla) com temperatura controlada. A temperatura utilizada foi 500°C e taxa de aquecimento de $1,7^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$. O tempo de permanência na temperatura final foi de 30 minutos para cada repetição.

Antes e após a carbonização, a massa das amostras foi determinada em balança analítica de precisão de 1 mg (Shimadzu, modelo AUY220) para cálculo do rendimento gravimétrico em carvão (Eq 1), que indica o percentual de madeira que efetivamente foi convertido em carvão vegetal.

$$RGC (\%) = \left(\frac{M_{Cs}}{M_{Ms}} \right) \times 100 \quad (\text{Eq 1}),$$

Em que, R_{GC} é rendimento gravimétrico do carvão em %, e M_{Cs} e M_{Ms} são as massas de carvão e de madeira em g, respectivamente.

A densidade aparente do carvão, que mede a relação de massa sobre um determinado volume na umidade de equilíbrio, foi calculada utilizando-se o método de determinação do

volume por imersão em mercúrio, com aferição da temperatura em cada medida para correção da densidade do mercúrio (Eq 2). A massa das amostras foi obtida em balança de precisão logo

antes da aferição do volume, conforme NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$DA (Hg) = \frac{MCs}{\frac{MC(Hg)}{13,6052 - (0,00254 * T)} - 0,2} \quad (\text{Eq 2}),$$

Em que, $DA_{(Hg)}$ é a densidade aparente em (g/cm³), M_{CHg} e T são a massa do carvão imerso em mercúrio (g) e a temperatura do mercúrio em (°C), respectivamente.

Após a carbonização e determinação do rendimento e densidade aparente, o material foi triturado e passado em peneira de 60 mesh e aclimatado em ambiente com temperatura de 20°C±2°C e umidade relativa de aproximadamente 60%.

Para caracterização da composição química imediata, foram obtidos teores percentuais de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo utilizando-se triplicata, de acordo com as diretrizes da norma D1762-84 (ASTM, 2013).

O poder calorífico superior foi determinado também em triplicata para cada tratamento, em bomba calorimétrica adiabática (IKA, modelo C2000) pelo método de Berttelot, que consiste na combustão do material em um ambiente fechado, na presença de oxigênio e sob pressão de 3 MPa.

Após a realização das análises os dados foram organizados em planilhas de onde foram obtidos as médias e o desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à caracterização energética do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* estão presentes na Tabela 1. Em termos de rendimento gravimétrico em carvão, percebe-se que a espécie apresenta potencial para a produção de carvão vegetal. O rendimento gravimétrico na temperatura e taxa de aquecimento utilizadas foi cerca de 35%, mesmo valor encontrado por Oliveira et al. (2012) para *E. urograndis*. Quando a pirólise é conduzida a uma baixa taxa de aquecimento, a temperatura demora a atingir um determinado valor, ocorrendo uma

maior taxa de degradação térmica dos componentes da biomassa, e há uma reduzida velocidade de saída dos compostos recém-formados do

sistema. Dessa forma, menores taxas de aquecimento podem implicar em maior rendimento gravimétrico em carvão.

Tabela 1. Valores de média e desvio padrão entre parênteses das variáveis avaliadas no carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

| Parâmetros | RGC (%) | DA (g.cm ⁻³) | PCS (kcal.kg ⁻¹) | TCF (%) | TMV (%) | TCZ (%) |
|------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 500/1,7 | 35,37 ^(0,90) | 0,32 ^(0,034) | 7803 ^(63,85) | 77,78 ^(1,12) | 22,65 ^(1,15) | 0,16 ^(0,01) |

RGC (Rendimento gravimétrico em carvão); DA (Densidade Aparente); PCS (Poder calorífico Superior); TMV (teor de materiais voláteis); TCZ (teor de cinzas); TCF (teor de carbono fixo).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando-se os aspectos produtivos, geralmente, é desejável obter elevado rendimento gravimétrico em carvão vegetal, devido ao maior aproveitamento da madeira nos fornos de carbonização e, conseqüentemente, maior produção de energia e menores rendimentos em líquido e em gases não condensáveis, pois esses são coprodutos do processo de pirólise (PROTÁSIO et al., 2011). A densidade aparente é um parâmetro importante para a indicação da qualidade do carvão vegetal. A espécie utilizada neste estudo obteve carvão com densidade de 0,32 g.cm⁻³.

Uma das características fundamentais para se avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal para utilização como insumo energético é determinada pelo poder calorífico. Isso porque essa variável do carvão está diretamente correlacionada ao teor de carbono fixo e inversamente correlacionada aos teores de materiais voláteis e de cinzas (DU et al., 2014). O Poder Calorífico do carvão da espécie estudada foi de 7800 kcal.kg⁻¹, corroborando com estudos como o Pereira et al. (2000) que encontraram valores para o poder calorífico superior do carvão de

Grevillea robusta entre 6.626 e 8.088 kcal/ kg.

De modo geral, a partir da análise química imediata do carvão, observou-se valores médios de carbono fixo de 77%, para o teor de materiais voláteis 22%, e teor de cinzas de 0,16%. Tais valores são considerados satisfatórios quando comparados com os do Selo Premium que destaca que o teor de carbono fixo (TCF) deve ser superior a 75%; teor de materiais voláteis (TMV) e o teor de cinzas devem ser inferiores a 23,5% e 1,5%, respectivamente (SÃO PAULO, 2003). Segundo Santos (2016), para uso siderúrgico é indicado teores de cinzas no carvão inferior a 1%, para evitar contaminação e redução do seu poder calorífico, uma vez que causa desgaste no alto-forno e pode comprometer a qualidade do ferro-gusa com consequentes formações de trincas e fissuras. Portanto, os valores encontrados indicam que o carvão de *E. urograndis* possui potencial energético.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* plantado

no oeste do Pará apresenta características, como rendimento gravimétrico em carvão, poder calorífico superior, teor de cinzas e carbono fixo, favoráveis para a geração de energia através da produção de carvão vegetal.

AGRADECIMENTOS

À FAPESPA, à Universidade Federal do Oeste do Pará, ao IV CBCTEM e ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFOPA.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas (1997): NBR 7190 – Projetos de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997.
- ASTM Standard D1762 – 84 (2013), Standard test method for chemical analysis of wood charcoal, Philadelphia, USA: American Society for Testing and Materials, 2013.
- DIAS JÚNIOR, A. F.; BRITO, J. O.; ANDRADE, C. R. Granulometric influence on the combustion of charcoal for barbecue. *Revista Árvore*, v. 39, n. 6, p. 1127-1133, 2015.
- DU, S.; CHEN, W.; LUCAS, J. A. Pretreatment of biomass by torrefaction and carbonization for coal blend used in pulverized coal injection.

Bioresource Technology, v. 161, p. 333-339, 2014.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores. Ano base 2013. Disponível em:
<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-2014-pt.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2018.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores. Ano base 2016. Disponível em:
<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2018.

JESUS, M. S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. *Floresta*, v. 47, n. 1, p. 11-16, 2017.

MOUTINHO, V. H. P.; FILHO, M. T.; BRITO, J. O.; BALLARI, A. W.; ANDRADE, F. W. C. Influence of the wood physical properties on the charcoal physical and mechanical properties. *Scientia Forestalis* (IPEF), v. 44, n. 111, p. 557-561, 2016.

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*, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão

vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Scientia Forestalis* (IPEF), v. 38, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, M. F. V.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Floresta*, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 59-68, 2012.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. *Bioresources*, Raleigh, v. 8, p. 4574-4592, 2013.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; BAGGIO, A. J. Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*. *Embrapa Florestas*, Colombo, v. 40, 10 p., 2000.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; CASTRO, R.V.O.; VIDAURRE, G.B.; TRUGILHO, P.F.; CASTRO, A.F.N.M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão

vegetal. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003. São Paulo, 2003.