



QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO COM RESÍDUOS DE MADEIRAS NATIVAS PROVENIENTES DE SERRARIAS DE MACAPÁ

Marlucia da Silva Fialho¹, Carla Priscilla Távora Cabral², Carine Setter³, Matheus Cordazzo Dias⁴

¹Discente, colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, *campus* Macapá. E-mail: silvaflorestal@gmail.com; ²Engenheira Florestal, Professora do Colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP. E-mail: carla.cabral@ueap.edu.br; ³Engenheira Florestal, Professora do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. E-mail: carine.setter@ufsm.br; ⁴Engenheiro Florestal, Professor do Colegiado de Engenharia Florestal, Universidade do Estado do Amapá, Macapá, AP. E-mail: matheus.dias@ueap.edu.br

Tecnologia da Madeira: Energia de Biomassa Florestal

RESUMO

Nos últimos anos, houve um crescimento no interesse por projetos que aproveitam energeticamente resíduos do processamento florestal, especialmente os de serrarias. Apesar disso, ainda há escassez de pesquisas sobre a caracterização desses materiais. A madeira é uma fonte renovável de energia, com cerca de metade da produção global destinada ao uso como combustível, incluindo carvão vegetal. Este estudo avaliou o potencial dos resíduos de serrarias na produção de carvão vegetal para fins energéticos. A hipótese é que esses resíduos podem ser uma matéria-prima viável. Para isso, resíduos foram coletados em uma serraria em Macapá (AP) e submetidos à pirólise lenta. A análise química imediata do carvão produzido revelou teores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, além do rendimento gravimétrico. Os resultados indicaram que os resíduos de serrarias são promissores para a produção de carvão vegetal. A baixa umidade observada está dentro dos limites aceitáveis para uso doméstico, o que indica boa qualidade. Os teores de voláteis e cinzas foram adequados, contribuindo positivamente para o poder calorífico. No entanto, a relação entre temperatura de carbonização e rendimento mostrou a importância do controle preciso do processo. Conclui-se que a produção de carvão vegetal a partir desses resíduos é uma alternativa sustentável e viável. A análise detalhada dos parâmetros químicos e físicos é essencial para garantir a qualidade do produto final, sendo necessário controlar variáveis desde a matéria-prima até o produto acabado, visando eficiência energética e menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Biomassa, Carbonização, Energia Renovável, Resíduos Florestais.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, cresce o interesse em projetos voltados para o aproveitamento dos resíduos do processamento florestal (PAIXÃO; FERREIRA; STACHIW, 2014; AMORIM; PIMENTA; SOUZA, 2021), os quais resultam desde a colheita, gerando subprodutos como serragem, cepilho e lenha (ABNT, 2004).

Grande parte da madeira extraída mundialmente é utilizada como combustível, sendo convertida em lenha, carvão e biomassa, 17% tornam-se carvão vegetal (FAO, 2017). Este destaca-se como alternativa renovável de energia (HASSAN et al., 2021). Para ser de boa qualidade, deve apresentar baixo teor de cinzas, baixa umidade, alto teor de materiais voláteis e elevado poder calorífico (ROSA et al., 2012). Conhecer suas propriedades é definir aplicações (COUGO et al., 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o uso dos resíduos madeireiros de serrarias da região de Macapá – AP, para geração de carvão para uso doméstico. E, especificamente, avaliar a composição química imediata do carvão vegetal; estimar a composição química elementar; estimar o poder calorífico; e avaliar o rendimento gravimétrico do carvão vegetal produzido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O resíduo de madeira foi adquirido na Madeireira Brasil, localizada na rodovia Duca Serra em Macapá- AP. Os resíduos coletados para produção do carvão foram oriundos de cinco espécies nativas da Amazônia: Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), Mandioqueira (*Qualea paraensis* Ducke.), Maçaranduba (*Manilkara bidentata* Ducke.), Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), após a coleta, os resíduos foram transformados em cavacos.

2.2 Carbonização dos resíduos

Para o processo de carbonização, as cinco espécies coletadas foram transformadas em cavacos.

Para o processo de carbonização, os cavacos foram acondicionados em um reator de ferro fundido que foi posteriormente alocado dentro de um forno mufla. O material foi aquecido lentamente até a temperatura atingir 450 °C, e permaneceu nesta temperatura por 30 minutos.

2.3 Análise química imediata do carvão vegetal

Para a caracterização química imediata do carvão vegetal foi utilizado o material passante pela peneira granulométrica de 40 mesh e retido na de 60 mesh. Os ensaios foram realizados em duplicata. A caracterização da análise química imediata foi avaliada quanto ao conteúdo em porcentagem de material volátil (MV),

cinzas (CZ) e carbono fixo (CF), de acordo com a norma ASTM D1762-84 (ASTM, 2013).

2.4 Análise química elementar do carvão vegetal

A estimativa da composição química elementar do carvão vegetal foi realizada seguindo a metodologia proposta por (KLASSON, 2017) (Eq. 1, 2, 3 e 4):

$$\% \text{Carbono (C)} = (0,474 \cdot \text{MV}) + (0,963 \cdot \text{CF}) + (0,067 \cdot \text{CZ}) \quad \text{Eq. (1)}$$

$$\% \text{Hidrogênio (H)} = (0,074 \cdot \text{MV}) + (0,012 \cdot \text{CF}) + (0,052 \cdot (\text{MV}/\text{CF})) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\% \text{Oxigênio (O)} = (0,469 \cdot \text{MV}) + (0,010 \cdot \text{CF}) + (0,069 \cdot \text{CZ}) \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\% \text{Nitrogênio (N)} = (100 - (\text{C} + \text{H} + \text{O})) \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

MV: Teor de Materiais Voláteis, em %;

CF: Carbono Fixo, em %;

CZ: Cinzas, em %.

2.5. Poder calorífico do carvão vegetal

O poder calorífico superior (PCS) do carvão vegetal foi determinado com auxílio do calorímetro digital IKA C-200, seguindo as normas ASTM E711-87 (ASTM, 2004). Esta etapa foi realizada no Laboratório de Biomateriais, pertencente ao Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

O poder calorífico inferior (PCI) foi determinado de acordo com a equação 5:

$$\text{PCI} = \left(\text{PCS} - \frac{(600 \times (9 \times \text{H}(\%)))}{100} \right) \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

PCI = Poder Calorífico Inferior, em Kcal/Kg;

PCS = Poder calorífico superior, em Kcal/Kg;

H = Teor de Hidrogênio (%).

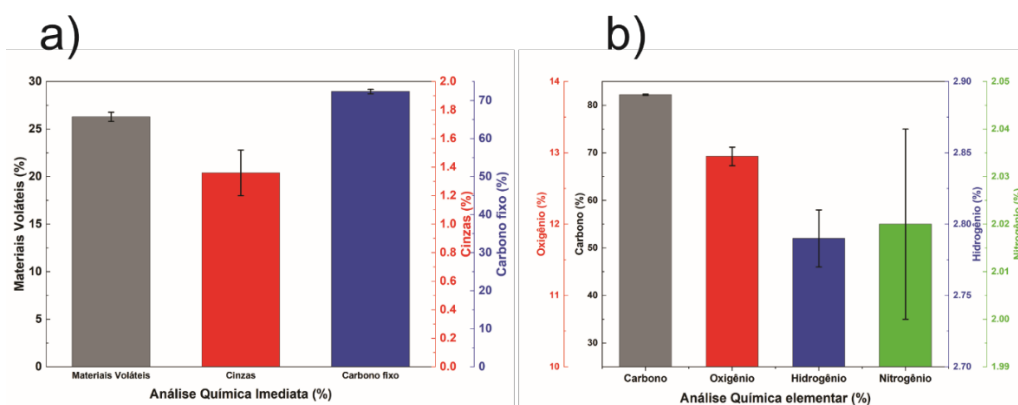
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O MV obtido através dos resíduos de serraria foi de 26,28% (Figura 1), inferior ao MV do carvão obtido através do *Eucalyptus benthamii* encontrado por Nones et al. (2015) com 30,41%, e superior ao encontrado por Soares et al., (2015) em seu estudo sobre análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de

Eucalyptus grandis x *Eucalyptus urophylla* com MV de 20,08%, 18,85% e 22,82%, encontrado para carvões de 3, 5 e 7 anos respectivamente.

Segundo Protásio et al. (2017), a presença de elementos voláteis no carvão facilita sua ignição na churrasqueira, pois se misturam com o oxigênio, promovendo uma combustão mais uniforme e eficiente.

Figura 1 – Análise química imediata e elemental do carvão proveniente de resíduos de serraria.



A baixa concentração de CZ no material analisado 1,36% (Figura 1), sugere que os resíduos de madeira utilizados é um material com alto potencial para ser empregado na pirólise e na produção de carvão. Reis et al. (2012) afirmam que menores CZ também são desejados no carvão vegetal, pois os minerais não sofrem o processo de combustão e, conseqüentemente, diminuem o valor calórico do combustível.

De acordo com Bridgwater (2012), o carbono fixo é a quantidade de massa que permanece após a liberação dos compostos voláteis contidos na biomassa, excluindo-se as cinzas e os teores de umidade. Desta forma o teor de carbono fixo encontrado neste estudo foi de 72,37% (Figura 1). Sabe-se que quanto maior a densidade do carvão, maior será a sua resistência mecânica e maiores serão os estoques energéticos e de carbono fixo (PROTÁSIO et al. 2013).

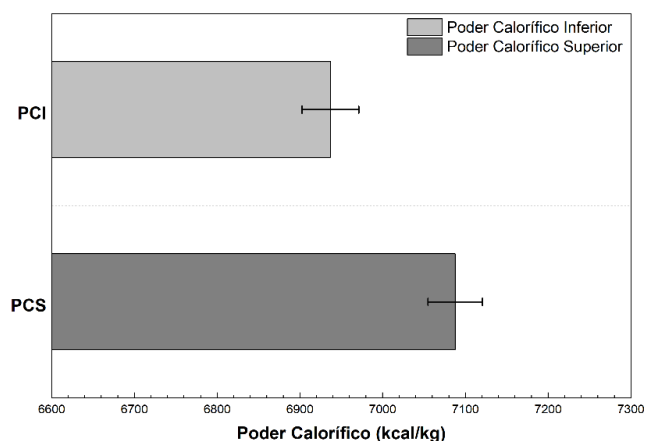
A caracterização elemental da madeira é essencial ao utilizá-la como biocombustível para geração de energia, pois madeiras destinadas a esse fim devem conter quantidades menores de oxigênio e teores elevados de carbono e hidrogênio. Esses elementos estão diretamente relacionados ao poder calorífico da biomassa vegetal (PROTÁSIO et al., 2011).

Partindo deste pressuposto, é possível observar na Figura 1, um resumo das análises dos níveis de carbono (82,23), hidrogênio (2,79), nitrogênio (2,02) e oxigênio (12,95) utilizados para os cálculos de poder calorífico superior dos resíduos madeira.

A Figura 2 mostra o Poder Calorífico Superior e o Poder Calorífico Inferior do carvão vegetal. Santos et al. (2012) destacaram a importância do poder calorífico como uma medida essencial para quantificar a energia liberada durante a combustão completa da madeira.

As diferenças entre os valores de PCS e o PCI de acordo com Protásio et al. (2013) representam o calor latente do vapor d'água, ou seja, a entalpia de formação, em base seca. Segundo Brand (2010), diferenças no poder calorífico de combustíveis de biomassa são consideradas significativas na prática quando excedem 300 kcal/kg.

Figura 2 – Poder calorífico superior, inferior e líquido do carvão vegetal.



4. CONCLUSÃO

A produção de carvão vegetal a partir de resíduos de serrarias demonstrou-se viável e sustentável, apresentando parâmetros de qualidade compatíveis com a demanda energética e industrial. Além de reduzir o desperdício de matéria-prima florestal, essa prática contribui para a minimização de impactos ambientais e pode agregar valor econômico ao setor madeireiro na Amazônia.

5. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação. 2ª ed. São Paulo. 2004.

AMORIM, E. P.; PIMENTA, A. S.; SOUZA, E. C. Aproveitamento dos resíduos da colheita florestal: estado da arte e oportunidades. **Research, Society and**

Development, v. 10, n. 2, p. e4410212175-e4410212175, 2021.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12175>

ASTM - American Society for Testing and Materials. D1762-84 - Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken, PA. 2013.

ASTM - American Society for Testing and Materials. E711-87 - Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter. West Conshohocken, PA. 2004.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 131 p. 2010.

COUGO, E. et al. Estimativa de análise elementar a partir de análise imediata para o carvão mineral de candiota - RS. 2021

FAO, Food And Agriculture Organization. Wood Energy. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/energy/en/>.

HASSAN, A. et al. Monetization of the environmental damage caused by fossil fuels. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 21204–21211, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-12205-w>

KLASSON, K. T. Biochar characterization and a method for estimating biochar quality from proximate analysis results. *Biomass and Bioenergy*, v. 96, p. 50-58, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.10.011>

NONES, D. L et al. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, 2015.

PAIXÃO, C. P. S.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Produção e destinação dos resíduos gerados em serrarias no município de Rolim de Moura - RO. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia / Brazilian Journal of Science of the Amazon*, v. 3, n. 1, p. 47-56, 2014.

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**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.113>

PROTÁSIO, T. P. et al. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp aos 42 meses de idade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, n. 74, p. 137-149, 2013. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.74.448>

ROSA, R.A.; ARANTES, M.D.C.; PAES, J.B.; ANDRADE, W.S.P.; MOULIN, J.C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3 (2): 41-48, 2012. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v3n2.rosa>

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>

SOARES, V. C. et al. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, p. 191-197, 2015.
<https://doi.org/10.1590/01047760201521021294>.