CARVÃO VEGETAL DE *Eucalyptus spp*. A PARTIR DE GALHOS E RAÍZES

Anna Júlia Leite de Oliveira[1]; Dalton Longue Júnior[2]; Camila Cristina Simão da Silva[3]; Ananias Francisco Dias Júnior[4]

[1] Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: annajulialeiteuesb@gmail.com
[2] Professor Titular, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: dalton@uesb.edu.br
[3] Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* Vitória da Conquista, BA. E-mail: camilacristinasimao@gmail.com
[4] Professor Titular, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). E-mail: ananias.dias@ufes.br

RESUMO

O Brasil lidera a produção e o consumo mundial de carvão vegetal de *Eucalyptus spp*. devido ao desenvolvimento do conceito de siderurgia sustentável. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de galhos e raízes de eucalipto para a produção de carvão. As carbonizações foram realizadas em forno mufla a 450 °C por 4 horas. Foram analisados o rendimento gravimétrico, a densidade aparente e a composição química imediata do carvão vegetal, revelando que as raízes proporcionaram os maiores rendimentos gravimétricos, enquanto os galhos apresentaram maior densidade aparente. Apesar dessas variações físicas, a composição química imediata foi semelhante entre todos os materiais. As raízes apresentaram características mais parecidas as dos troncos, e por isso com maior potencial para serem utilizadas em conjunto (misturados).

Palavras-chave: Biomassa; Carbonização; Madeira; Resíduos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal, com uma produção anual de aproximadamente 6,6 milhões de toneladas, proveniente majoritariamente de florestas plantadas de eucalipto (IBÁ, 2025). Esse volume é direcionado principalmente para a redução do minério de ferro na produção de ferro-gusa e aço, consolidando o carvão de eucalipto como matéria-prima estratégica para siderurgia sustentável devido ao seu rápido crescimento e elevada qualidade energética (PROTÁSIO et al., 2013; TRUGILHO et al., 2001).

A qualidade do carvão vegetal é definida por propriedades físicas e químicas que determinam sua eficiência, sendo essenciais o alto teor de carbono fixo e baixos níveis de umidade e cinzas (PROTÁSIO et al., 2013). Para fins industriais, a resistência mecânica é fundamental para suportar a carga nos altos-fornos, enquanto

o carvão doméstico, muitas vezes produzido por pequenos produtores em processos menos controlados, carece de avaliações técnicas (RAMOS, 2025).

Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos florestais como galhos e raízes surge como uma alternativa sustentável para otimizar o uso da biomassa, agregar valor econômico a materiais que seriam descartados e suprir tanto a indústria quanto o mercado doméstico (OLIVEIRA et al., 2025; PROTÁSIO et al., 2013; RAMOS, 2025). Assim, este trabalho teve como objetivo determinar o potencial de galhos e raízes de eucalipto para produção de carvão vegetal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos lignocelulósicos de *Eucalyptus spp.* foram coletados e classificados em tronco, galhos e raízes para garantir a homogeneidade das amostras, que foram descascadas e limpas para padronização. O processo de carbonização ocorreu em forno mufla, com taxa de aquecimento de 1,7 °C/min até a temperatura final de 450 °C, mantida por 4 horas. A densidade básica da madeira foi determinada via NBR-11941 (ABNT, 2003), o rendimento gravimétrico pela relação de massa final/inicial, a densidade aparente do carvão pela NBR-9165 (ABNT, 1985) e a análise química imediata (voláteis, cinzas e carbono fixo) conforme a NBR-8112 (ABNT, 1986).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento gravimétrico variou significativamente entre os resíduos, sendo maior nas raízes (34,3%), intermediário no tronco e bem menor nos galhos (31,4%), conforme Figura 1A. Essa variação é diretamente influenciada pelo teor de lignina e densidade dos resíduos. Visando uma maior uniformidade do processo e com base no rendimento, é mais indicado a mistura das raízes e troncos. A densidade aparente do carvão (FIGURA 1B) apresentou diferenças entre os resíduos, sendo o tronco o responsável pelo carvão menos denso (405 kg/m³) e os galhos pela maior densidade (472 kg/m³), propriedade influenciada pela densidade básica, anatomia da madeira, condições de carbonização e o grau de contração estrutural que determina a porosidade (TRUGILHO et al., 2001; SOARES et al., 2014; YANG et al., 2024).

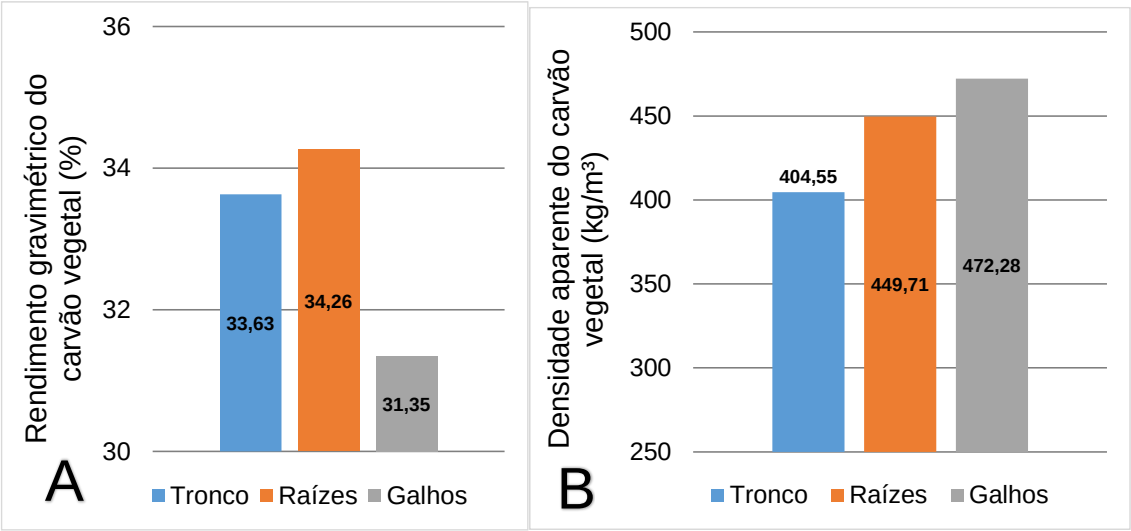


FIGURA 1 – Resultados da carbonização e da qualidade do carvão vegetal: A) rendimento gravimétrico; B) densidade aparente

Estudos em *Eucalyptus spp.* na literatura observam uma correlação muito alta entre a massa de lignina na madeira e a massa de carvão obtida, evidenciando que variações no conteúdo de lignina explicam grande parcela da variabilidade do rendimento sob condições padronizadas (TRUGILHO et al., 2001; PROTÁSIO, 2021). Além da composição química, as diferenças anatômicas como a espessura da parede celular e proporção de fibras impactam a taxa de degradação térmica e a estabilidade estrutural durante a pirólise (SOARES et al., 2014 LINDSTROM, 2024).

As condições de carbonização empregadas (450 °C, 1,7 °C/min, 4 h) situam-se em uma faixa que proporciona rendimento moderado de carvão, com redução dos materiais voláteis e aumento do carbono fixo, sem atingir temperaturas mais elevadas que diminuiriam ainda mais o rendimento gravimétrico. Estudos com carvão de eucalipto produzido entre 450 e 500 °C apontam rendimentos de 28–32%, variando conforme o clone e a densidade básica (SOARES et al., 2014; DUFOURNY, 2019).

Madeiras mais densas tendem a retardar a liberação de voláteis e formar carvões mais consolidados, permitindo que as raízes mantenham rendimentos semelhantes aos do tronco, enquanto os galhos, devido à maior proporção de casca, extrativos e minerais, apresentam maiores perdas por volatilização e menor rendimento (SOARES et al., 2014; GUO et al., 2024).

A composição química imediata (FIGURA 2) mostrou baixa variação entre os resíduos, com teor de carbono fixo entre 77–79%, teor de materiais voláteis de 19–21% e teor de cinzas de 1,1–1,2%, valores compatíveis com carvão de eucalipto produzido a 450 °C (SOARES et al., 2014; RAMOS, 2025). Os galhos apresentaram

maior teor de cinzas devido à concentração de minerais na casca, o que é indesejável industrialmente (SOARES et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2025).

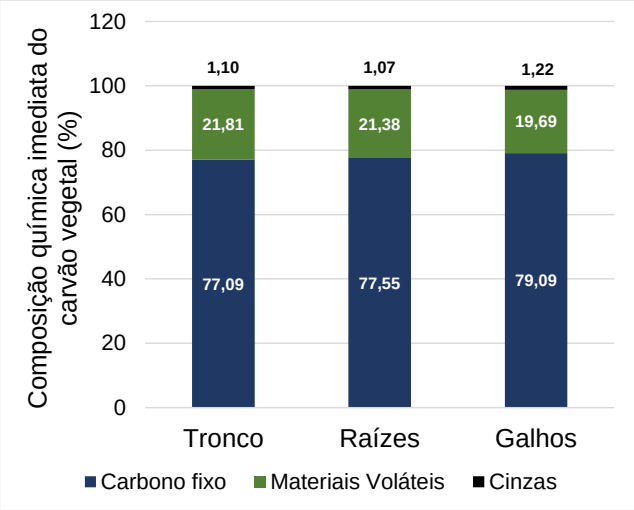


FIGURA 2 – Resultados da composição química imediata para qualidade do carvão vegetal.

4. CONCLUSÃO

O carvão vegetal proveniente das raízes apresentou o rendimento e a densidade mais parecida com o carvão referência (tronco), apontando para o melhor potencial de aproveitamento em carbonização com mistura de biomassa.

Apesar de mais diferentes, os galhos também podem ser reaproveitados com atenção ao teor de cinzas elevado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9165: carvão vegetal: determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: madeira: determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

DUFOURNY, A.; VAN DE STEENE, L.; HUMBERT, G.; GUIBAL, D.; MARTIN, L.; BLIN, J. Influence of pyrolysis conditions and the nature of the wood on the quality of charcoal as a reducing agent. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 137, p. 1-9, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.10.013.

GUO, P.; ZHAO, X.; WANG, X.; FENG, Q.; LI, X.; TAN, Y. Wood density and carbon concentration jointly drive wood carbon density of five Rosaceae tree species. **Forests**, v. 15, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/f15071102.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual IBÁ 2025**. Brasília: IBÁ, 2025.

LINDSTROM, J. K.; PETERSON, C. A.; CIESIELSKI, P. N.; RALPH, J.; CHEN, M.; JAKES, J. E.; JOHNSTON, P. A.; ROLLAG, S. A.; BROWN, R. C. Structural and chemical changes in hardwood cell walls during early stages of flash pyrolysis. **Frontiers in Energy Research**, v. 12, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1348464.

DE PAULA PROTÁSIO; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; GUIMARÃES JUNIOR, M.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013. DOI: https://doi.org/10.15376/biores.8.1.1166-1185.

DE PAULA PROTÁSIO, T.; LIMA, M. D. R.; TEIXEIRA, R. A. C.; DO ROSÁRIO, F. S.; DE ARAÚJO, A. C. C.; DE ASSIS, M. R.; HEIN, P. R. G.; TRUGILHO, P. F. Influence of Extractives Content and Lignin Quality of Eucalyptus Wood in the Mass Balance of Pyrolysis **Process BioEnergy Research**, v. 14, n. 1, p. 175–189, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12155-020-10166-z.

OLIVEIRA, A. J. L.; LONGUE JÚNIOR, D.; RAMOS, R. D.; SILVA, J. V. M.; LIMA, H. R. Variabilidade na determinação da composição química imediata do carvão vegetal de eucalipto. **Semana de Engenharia Florestal da Bahia (SEEFLOR-BA)**, v. 4, 2025. Disponível em: https://anais2.uesb.br/index.php/seeflor/article/view/2882. Acesso em: 20 jul. 2026.

RAMOS, R. D. **Estudo da carbonização e das características do carvão vegetal de eucalipto para churrasco**. 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2025.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 543–549, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/YfhFzCfjGPFC38GrpSQHcHs/?lang=pt>. Acesso em: 10 ago. 2026.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

YANG, H.; WANG, S.; SON, R.; LEE, H.; BENSON, V.; ZHANG, W.; ZHANG, Y.; KATTGE, J.; BOENISCH, G.; SHCHEPASHCHENKO, D.; KARASZEWSKI, Z.; KRZYSZTOF, S.; MORENO-MARTÍNEZ, Á.; NABAIS, C.; BIRNBAUM, P.; VIEILLEDENT, G.; WEBER, U.; CARVALHAIS, N. Global patterns of tree wood density. **Global Change Biology**, v. 30, 2024. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.17224.