

Qualidade do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. em sistema integrado de produção.

Carlos Eduardo Barbosa da Silva¹; Jovita Oliveira Dantas ¹; Arthur Pedro Alves Fernandes¹; Gustavo Strack Jager Pereira²; Macksuel Fernandes da Silva¹; Carlos Roberto Sette Júnior¹.

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil.

²Departamento de Engenharia Florestal – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Resumo: A facilidade do uso de eucalipto em sistemas integrados de produção (associado com agricultura e/ou pecuária) se deve ao seu crescimento rápido e à variedade de clones, permitindo escolher o mais adequado para a produção de carvão vegetal. O objetivo de trabalho foi avaliar as características do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Eucalyptus* spp. Cinco clones de *Eucalyptus* spp. foram selecionados, obtidas amostras de madeira e carbonizadas para a produção de carvão vegetal em laboratório. Em seguida, foram determinados o rendimento gravimétrico, poder calorífico superior, poder calorífico útil, densidade aparente e densidade energética. Em síntese, os resultados mostraram que de todos os clones avaliados, o T produziu carvão com menor qualidade, especialmente no que se refere ao rendimento gravimétrico e densidade aparente e energética. Desta forma, em sistema integrado de produção, não se recomenda a adoção deste material genético para a produção de carvão vegetal.

Palavras-chave: Poder calorífico, Madeira, Densidade.

Charcoal quality of *Eucalyptus* spp. clones in an integrated production system

Abstract: The ease with which eucalyptus can be used in integrated production systems (associated with agriculture and/or livestock) is due to its rapid growth and the variety of clones, making it possible to choose the most suitable for the location and purpose, such as charcoal. The aim of this work was to evaluate the characteristics of charcoal produced from *Eucalyptus* spp. wood. Five *Eucalyptus* spp. clones were selected, wood samples obtained and charred for charcoal production in the laboratory. The gravimetric yield, higher calorific value (HCV), useful calorific value (HCV), bulk density and energy density were then determined. In summary, the results showed that of all the clones evaluated, T produced the lowest quality charcoal, especially in terms of gravimetric yield and bulk and energy density. Therefore, in an integrated production system, this genetic material is not recommended for charcoal production.

Keywords: Calorific value, Wood, Density.

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por madeira ocasionado pela expansão agroindustrial possibilitou a entrada de investimentos privados para suprir esta demanda por meio de plantios florestais, sejam eles em monocultivo ou em sistemas de integrados. Plantios de eucalipto em sistemas integrados de produção (em conjunto com a agricultura e/ou pecuária) são cada vez mais utilizados como uma opção de melhor uso do solo. Na safra 2020-21 foram estimados 17,4 milhões de hectares, sendo 40% na região Centro-Oeste (IBÁ, 2023). Os sistemas integrados possuem vários benefícios ambientais e econômicos, tais como: intensificação e maior eficiência do uso da terra, maior sequestro de carbono, aumento da matéria orgânica do solo, redução da erosão, melhoria das condições microclimáticas e do bem-estar animal entre outros (Balbino *et al.*, 2011).

A facilidade do uso de eucalipto em sistemas integrados de produção se deve ao seu crescimento rápido e à variedade de clones, permitindo escolher o mais adequado para cada aplicação, como para o carvão vegetal.

O carvão vegetal atingiu 7,0 milhões de toneladas produzidas no Brasil em 2022, sendo o maior produtor mundial (IBÁ, 2023). O carvão vegetal e a lenha correspondem a 8,6% da energia produzida no Brasil (EPE, 2024).

Diante do exposto, é fundamental para o desenvolvimento das plantações florestais de eucalipto sob cultivo de sistemas integrados, que se tenha informações técnicas sobre o comportamento dos materiais genéticos com maior potencial de desenvolvimento em relação a produção de carvão vegetal. O objetivo do trabalho foi avaliar as características do carvão vegetal produzido a partir da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. implementados em sistemas integrados de produção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área do experimento

O material utilizado no estudo foi coletado de um projeto instalado em janeiro de 2018, na cidade de Morrinhos-GO, em uma parceria entre o Instituto Federal Goiano, EMATER-GO, Assistech Ltda, Embrapa, Universidade Federal de Goiás (UFG) e Universidade Federal Lavras (UFLA) (Figura 1A). Esse experimento foi instalado em uma área de sistema integrado de produção, em que foram consorciadas árvores de eucalipto com a pastagem. O plantio do componente arbóreo foi feito em

delineamento experimental de blocos casualizados, o espaçamento utilizado foi de 4x10 m, em linhas simples com 40 tratamentos (clones), 6 repetições e 5 plantas por parcela.

Durante o desenvolvimento do experimento foram realizados tratos silviculturais usuais na cultura do eucalipto, assim como avaliações de diâmetro à altura do peito, altura da árvore e dados qualitativos do fuste

2.2 Seleção e coleta do material

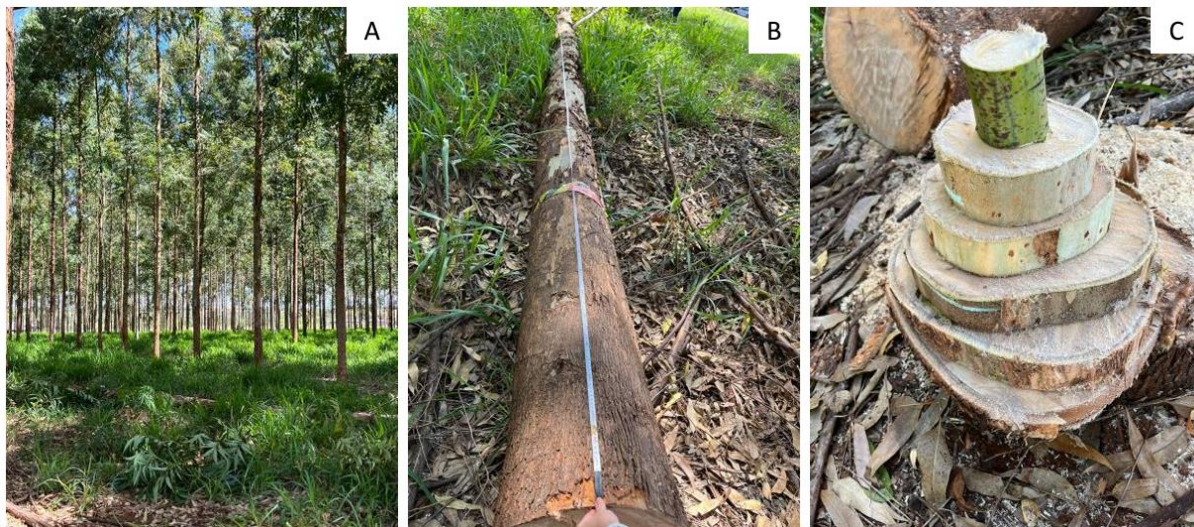
As amostras de madeira foram coletadas na idade de 5 anos (2022), sendo selecionados cinco clones de *Eucalyptus* spp. (Tabela 1) que apresentaram os maiores incrementos médios anuais (IMA). Foram selecionadas e cortadas (Figura 1B) cinco árvores de cada clone, totalizando 25 árvores amostradas.

Tabela 1: Código de identificação e espécies/híbridos selecionados para produção do carvão vegetal.

Código do clone	Espécie/híbrido
T	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
W	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
X	<i>E. urophylla</i>
Y	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
Z	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>

As árvores selecionadas foram cortadas em discos (Figura 1C) em diferentes posições longitudinais no tronco, sendo: base (0% da altura), diâmetro à altura do peito (DAP), 25%, 50%, 75% e topo (100% da altura comercial, equivalente a 6cm de diâmetro).

Figura 1. Área experimental do plantio de clones de *Eucalyptus* spp. em sistema integrado de produção (A); árvore cortada e marcação das posições longitudinais no tronco (B); discos de madeira cortados por posição longitudinal da base ao topo (C).



Fonte: Autor

2.3 Carbonização

As cunhas de madeira foram secas em estufa e após colocadas em forno mufla, onde a taxa de aquecimento foi de $1,67\text{ }^{\circ}\text{C}$ por minuto, até que o mesmo atingisse a temperatura final de $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, com essa temperatura o forno continuou ligado por mais 30 minutos para que houvesse a fixação do carbono (Silva et al., 2018). Com o forno desligado foi esperado 24 horas para o resfriamento do carvão, em seguida foram feitas as análises.

2.4 Análises

A análise de rendimento gravimétrico foi feita com a diferença entre o peso da madeira seca em estufa e o peso do carvão vegetal.

A determinação da Densidade aparente foi feita com as cunhas carbonizadas e cortadas de acordo com a norma NBR 7190:1997, e as medidas retiradas com paquímetro digital, o peso obtido com balança de precisão.

O poder calorífico superior foi obtido com uma bomba calorimétrica, de acordo com a norma ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984). O poder calorífico útil foi obtido utilizando o PCS e o teor de umidade.

A densidade energética foi determinada pela relação entre o PCS e a Densidade aparente.

As análises estatísticas foram obtidas por meio do software Sisvar versão 5.7. Este software é eficiente e tem precisão para a análise de dados estatísticos, sendo assim uma ferramenta confiável para a condução e análise dos dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Rendimento gravimétrico variou estatisticamente entre os clones (Tabela 3). Os clones W e X, com 31,75% e 32% respectivamente, foram estatisticamente iguais e apresentaram os maiores valores. Segundo Neves *et al.* (2011), valores maiores indicam melhor aproveitamento da madeira e maior eficiência dos fornos.

Tabela 3: Média do rendimento gravimétrico do carvão vegetal encontrado nos clones de *Eucalyptus* spp., em sistema integrado de produção.

Código do clone	Rendimento Gravimétrico (%)
T	25,50 c
W	31,75 a
X	32,00 a
Y	29,76 ab
Z	27,54 bc

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Neves *et al.* (2011) encontraram um rendimento médio de 32%, e Santos e Trugilho (2019) também encontraram valores próximos a 32%. O clone Y apresentou o menor rendimento gravimétrico, possivelmente devido à qualidade da matéria-prima, condições do processo de carbonização, controle de oxigênio, eficiência do forno e preparo da madeira (Santos e Trugilho, 2019; Protásio *et al.*, 2014).

Não houve diferenças estatísticas no poder calorífico superior e no poder calorífico útil entre os clones (Tabela 4).

Tabela 4: Média do poder calorífico superior e útil do carvão vegetal dos clones de *Eucalyptus* spp., em sistema integrado de produção.

Código do clone	PCS (MJ kg ⁻¹)	PCU (MJ kg ⁻¹)
T	30,05 a	25,45 a
W	29,81 a	26,05 a

X	30,16 a	26,48 a
Y	29,75 a	25,45 a
Z	29,81 a	25,60 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

O poder calorífico superior indica a quantidade total de energia liberada quando uma amostra de carvão vegetal é totalmente queimada. Quanto maior o PCS, mais energia pode ser retirada do carvão, tornando-o mais eficiente para indústrias e residências (Brito, 2007). Assis *et al.* (2012) encontrou um PCS médio de 31 MJ/kg, próximo ao valor deste estudo, onde as médias não diferiram estatisticamente.

A média do poder calorífico útil também não se diferenciou estatisticamente e indica a quantidade de energia realmente liberada na combustão.

A Densidade aparente e energética foram menores no clone T (Tabela 5). Os demais clones apresentaram carvões vegetais com densidades superiores.

Tabela 5: Média de densidade aparente e energética do carvão vegetal dos clones de *Eucalyptus* spp., em sistema integrado de produção.

Código do clone	Densidade Aparente (kg m³)	Densidade Energética (MJ m³)
T	179,29 b	4592,77 b
W	265,35 a	6914,78 a
X	262,48 a	6952,58 a
Y	290,56 a	7404,64 a
Z	307,35 a	7865,34 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

É desejável que os valores de densidade aparente sejam maiores (Souza e Vale, 2017). Silva (2022) encontrou para a densidade aparente de um clone de *E. urophylla* x *E. grandis* uma média entre 250 e 350 kg/m³ para diferentes tipos de solo.

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que de todos os clones avaliados, o T produziu carvão com menor qualidade, especialmente no que se refere ao rendimento gravimétrico e densidade aparente e energética. Desta forma, em sistema integrado

de produção, não se recomenda a adoção deste material genético para a produção de carvão vegetal.

5. REFERÊNCIAS

BALBINO, Luiz Carlos et al. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. 2011.

BRITO, J. O. Carvão vegetal: produção e qualidade. Piracicaba: ESALQ, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-03102007-093345>. Acesso em: 23 jul. 2024.

DE ASSIS, Maíra Reis et al. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 291-291, 2012.

EPE - Energy Research Company. MME - Ministry of Mines and Energy. (2024). National Energy Balance. Brasília: Ministry of Mines and Energy. **Energy research company**.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual 2023. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/IBA_Relatorio_Anual_2023.pdf. Acesso em: 16 jul. 2024.

NEVES, Thiago Andrade et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 319-319, 2011.

PROTÁSIO, T. P. et al. Qualidade do carvão vegetal de clones de eucalipto aos 42 meses de idade para produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 363-370, 2014.

SANTOS, R. C.; TRUGILHO, P. F. Rendimento gravimétrico e características do carvão vegetal obtido de madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 43, n. 4, p. e430403, 2019. DOI: 10.1590/1806-90882019000400003.

SILVA, M. F.; FORTES, M. M.; SETTE JUNIOR, C. R. Characteristics of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones. *Floresta e Ambiente*, v. 25, n. 3, p. e20160350, 2018. DOI: 10.1590/2179-8087.035016.

SILVA, Macksuel Fernandes da. Potencial energético de clones de *Eucalyptus* spp. provenientes de testes clonais em dois diferentes tipos de solo. 2022.

SOUZA, F.; VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 405-413, 11 jan. 2017.