

Incremento da idade da árvore na densidade básica da madeira para a produção de carvão vegetal

Juliana Dias de Melo¹; Sherellyn Daphnee Alves Moretti¹;
Wagner Patricio de Souza Junior²; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹;
Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Lílian Alves Carvalho Reis³

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil; ² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Salinas (IFNMG), Salinas/MG, Brasil; ³ Aperam Bioenergia, Capelinha/MG, Brasil

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da idade técnica da colheita de árvores de genótipos de *Eucalyptus* e *Corymbia* na qualidade da madeira, visando a produção de carvão vegetal. Foram utilizados cinco genótipos em três idades, de cada árvore foram retirados seis discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco. A densidade básica da madeira foi determinada seguindo a norma NBR 11941. O incremento da idade ocasionou aumento da densidade básica da madeira. O clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* teve os maiores valores de densidade básica da madeira. Pode-se concluir que o clone com maior potencial para produção de carvão vegetal voltado para indústrias siderúrgicas é o *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* na idade sete anos.

Palavras-chave: Ciclo de corte, Energia da madeira, Melhoramento genético.

Increment of tree age in basic wood density for charcoal production

Juliana Dias de Melo¹; Sherellyn Daphnee Alves Moretti¹;
Wagner Patricio de Souza Junior²; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro¹;
Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho¹; Lílian Alves Carvalho Reis³

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, Brasil; ² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Salinas (IFNMG), Salinas/MG, Brasil; ³ Aperam Bioenergia, Capelinha/MG, Brasil

Abstract: The objective of this work was to evaluate the effect of the technical age of harvesting trees of *Eucalyptus* and *Corymbia* genotypes on wood quality, moving the production of charcoal. Five genotypes were used at three ages, from each tree six 5 cm thick discs were removed, corresponding to 0%, DBH (diameter at breast height), 25%, 50%, 75% and 100% of the commercial height of the tree. stem. The basic density of the wood was determined following the NBR 11941 standard. The increase in age caused an increase in the basic density of the wood. The clone of *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* presented the highest values of basic wood density. It can be concluded that the clone with the greatest potential for charcoal production for the steel industry is *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* at the age of seven years.



Keywords: Cutting cycle, Wood energy, Wood quality.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal tem desempenhado um papel cada vez mais significativo na economia global, especialmente no contexto do desenvolvimento sustentável e da busca por alternativas renováveis. A produção de biomassa lenhosa para diversos fins, incluindo energia, tem sido uma atividade cada vez mais relevante em todo o mundo. Segundo dados do Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2023), a área de floresta plantada totalizou 9,94 milhões de hectares em 2022 no Brasil, sendo 76% ocupado pelo plantio de eucalipto.

A biomassa florestal para fins energéticos é usada na forma de lenha e cavaco, ou transformada em carvão vegetal. No Brasil, o carvão vegetal é utilizado principalmente no uso industrial e residencial, sendo que, aproximadamente 83% da sua produção é destinada às indústrias siderúrgicas, usados para fornecer carbono para as reações de redução, energia na forma de calor, sustentar a carga de minério de ferro e permitir a percolação gasosa do leito (EPE, 2022; Protásio *et al.*, 2021; Silva; Ataíde, 2019).

Entre as várias opções de espécies para plantio, com o objetivo de produção de madeira, aquelas pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* destacam-se por seu rápido crescimento, resistência a condições adversas e pela viabilidade de plantios mais adensados (Lopes *et al.*, 2017). No entanto, é fundamental conhecer a qualidade da madeira dessas espécies para determinar sua utilidade em diferentes setores.

A variação da densidade básica pode ser influenciada por uma série de fatores, entre os quais a idade das árvores surge como um dos mais importantes. A densidade básica da madeira de eucalipto aumenta com a idade da árvore (Meneses *et al.*, 2015). Segundo Vital (1984), isto ocorre devido ao aumento de espessura da parede celular e da diminuição da largura da célula do lenho.

A idade de uma floresta desempenha um papel fundamental para as empresas, pois influencia diretamente nas propriedades da madeira. Geralmente, as empresas definem uma idade de corte com base na produtividade volumétrica do povoamento, sem levar em conta as mudanças na qualidade da madeira que ocorrem ao longo do tempo.

Por isso, compreender como a idade afeta a densidade básica desses clones

é essencial para otimizar a produção de madeira de qualidade e maximizar os rendimentos econômicos das plantações florestais. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da idade na densidade básica das madeiras de híbridos de *Eucalyptus* e *Corymbia*, visando a produção sustentável de carvão vegetal para abastecimento da indústria de ferro gusa e ligas metálicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção do material

Neste trabalho foram utilizados cinco genótipos, sendo eles *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita*, nas idades de cinco, seis e sete anos. Foram selecionadas três árvores de diâmetro médio por idade, excluindo árvores de bordas, suprimidas e com defeito, totalizando 45 árvores (unidades amostrais). As árvores foram obtidas de plantios comerciais com espaçamento 6 × 1,5 metros, pertencentes a empresa Aperam, localizados na região de Itamarandiba, Minas Gerais (Latitude 17° 44' 45" S; longitude 42° 45' 11" W e altitude 1.000m).

2.2 Preparo das amostras para determinação da densidade básica das madeiras

Para a caracterização da madeira foram retirados discos com espessura aproximada de 7 cm, nas posições 0, DAP (diâmetro a altura do peito), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Cada disco foi subdividido em 4 partes (cunhas), considerando a medula como referência central.

Duas cunhas opostas foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira, conforme a norma NBR-11941 (ABNT, 2003) e Vital (1984).

2.3 Análise estatística



Engenharia
Industrial
Madeireira



SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA MADEIRA

O experimento foi instalado em esquema fatorial com inteiramente casualizado. O primeiro fator é formado por cinco (genótipos) e o segundo fator com três tratamentos (idade), sendo assim o arranjo fatorial foi 5 × 3. O experimento foi composto por três repetições (árvores), totalizando 45 unidades amostrais.

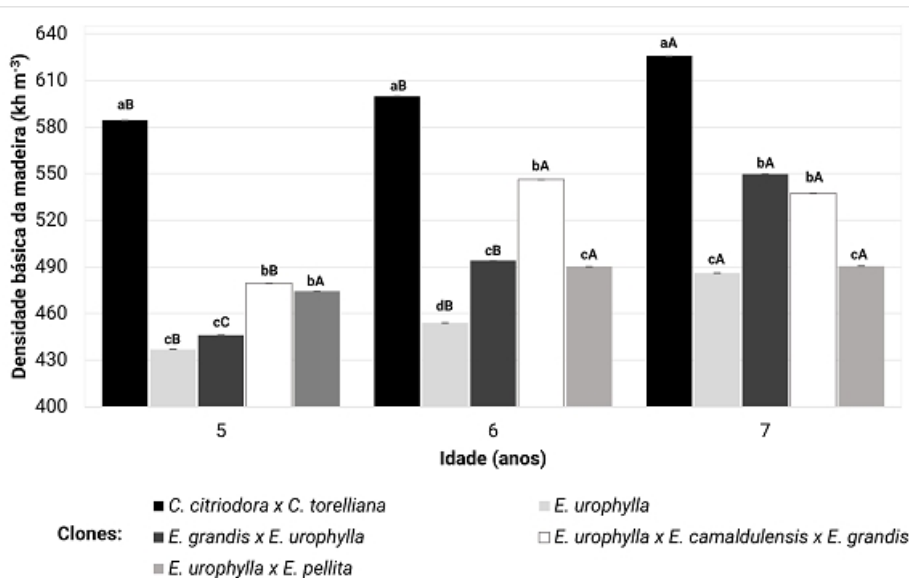
Sequencialmente, foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para testar a normalidade e homogeneidade de variância, respectivamente. Atendendo aos pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificar interação entre os fatores. Quando estabelecidas significância os fatores foram desdobrados nos diferentes níveis, onde não houve interação os fatores foram analisados separadamente.

Para dados qualitativos foram utilizados testes de média (Tukey a 95% de probabilidade). Todas as análises foram realizadas no software livre R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira em função dos tratamentos. De acordo com a análise de variância houve efeito da interação idade e clone.

Figura 1 - Densidade básica da madeira (kg m⁻³) de diferentes clones de *Eucalyptus* e *Corymbia* em função das idades de corte das árvores.



Em que: Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey; Letras minúsculas representam diferença

significativa entre clones; Letras maiúsculas representam diferença significativa entre idades.

Todos os clones apresentaram diferença significativa em pelo menos uma idade para densidade básica da madeira, com exceção do clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita* (Figura 1). A densidade básica apresentou tendência de aumento com o avanço da idade, em média o incremento foi maior da idade seis para a idade sete, próximo de 7,50%. Para os clones *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita* os ganhos foram maiores da idade cinco para seis, 13,88 e 3,37%, respectivamente.

O incremento da densidade básica com o avanço da idade é esperado devido ao início da formação do lenho tardio, onde ocorre o aumento da espessura da parede celular e uma redução na frequência dos elementos de vaso, quando isso não ocorre acredita-se que seja efeito das condições climáticas do local do plantio ou devido as características dos genótipos (Fan *et al.*, 2022; Vega *et al.*, 2021).

O recomendado para produção de carvão vegetal são valores acima de 500 kg m⁻³ (Couto *et al.*, 2023), sendo que na idade cinco apenas o clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* atenderia ao desejado para siderurgia. O clone *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* atingiu o valor recomendado aos seis anos, enquanto o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* que obteve ganhos acima de 10% nas três idades avaliadas atingiu o recomendado apenas na idade sete anos. Já os clones *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus pellita* não atingiram os valores recomendados para produção de carvão vegetal em nenhuma das idades estudadas, sendo indicado manter esses materiais em campo por mais tempo.

Os valores de densidade básica da madeira foram semelhantes aos encontrados na literatura, como, por exemplo, o trabalho desenvolvido por Assis (2014), que estudando clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* aos 7 anos de idade, encontrou densidade acima de 600 kg m⁻³. Já o trabalho desenvolvido por Santos *et al.* (2011) que estudando três clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e um clone *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade, encontraram valores médios entre 0,500 e 0,550 g.cm⁻³.

Carneiro *et al.*, (2014) observou o aumento significativo da densidade básica com o incremento da idade (3, 4, 5 e 7 anos) para a madeira dos clones GG100 e GG680 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e GG157 (*E. urophylla*), provenientes de plantações comerciais. No entanto, apenas aos 7 anos foram alcançados valores ideais de densidade para produção de carvão vegetal, destacando o efeito da idade sobre a qualidade da madeira e, conseqüentemente, do produto produzido.

As alterações das características físicas da madeira ocorrem geralmente na fase juvenil, em que a taxa de incorporação de biomassa é crescente, tendendo a se estabilizar, quando a árvore atinge a fase adulta, mas que pode ser influenciada por fatores genéticos, edáficos e climáticos (Vidaurre *et al.*, 2011).

Portanto, analisando a possibilidade de antecipação da idade de corte, geralmente sete anos, apenas o clone de *Corymbia citriodora* x *C. torelliana* estaria apto para atender as necessidades das indústrias produtoras de carvão vegetal, porém, deve-se analisar outras propriedades juntamente com a densidade básica da madeira.

4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- O clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* atingiu densidade básica recomendada para produção de carvão vegetal aos sete anos;
- Dentre os materiais avaliados o clone de *Corymbia citriodora* x *Corymbia torelliana* aos sete anos apresentou melhor desempenho para utilização nas indústrias siderúrgicas, por apresentar maior densidade básica da madeira;
- Entre as idades de corte das árvores, a que obteve os maiores valores de densidade básica da madeira foi a idade sete anos.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF/UFV), à Sociedade de Investigações Florestais, ao Grupo Temático Carvão

Vegetal Sustentável, à empresa Aperam pelo fornecimento do material e apoio financeiro ao projeto, à EMBRAPII Unidade Fibras Florestais.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR-11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. p. 6.

ASSIS, T. F. Melhoria genética de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014.

COUTO, A. M.; MONTEIRO, T. C.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; DA SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; DE ALMEIDA, D. P. Influence of physical-anatomical wood variables on charcoal physical-mechanical properties. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 2, p. 531–538, 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**: Ano base 2021. 2022.

FAN, J.; DING, C.; WANG, S.; MA, C.; ZHANG, C.; LI, Y.; WANG, J.; YANG, M.; SU, X. Effects of site conditions on growth and wood properties of *Populus × euramericana* cv. '74/76'. **Journal of Forestry Research**, v. 34, n. 2, p. 401–414, 2022.

IBÁ, Indústria Brasileira de Árvores. **RELATÓRIO ANUAL**. 2023. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>>.

LOPES, E. D.; LAIA, M. L.; SANTOS, A. S.; SOARES, G. M.; LEITE, R. W. P.; MARTINS, N. S. Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de *Corymbia e Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, 2017.

MENESES, V.A., Trugilho, P.T., Calegario, N., Leite, H.G., 2015. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, 105,101-116.

PROTÁSIO, T. P.; ROQUE LIMA, M. D.; SCATOLINO, M. V.; SILVA, A. B.; RODRIGUES DE FIGUEIREDO, I. C.; GHERARDI HEIN, P. R.; TRUGILHO, P. F. Charcoal productivity and quality parameters for reliable classification of *Eucalyptus* clones from Brazilian energy forests. **Renewable Energy**, v. 164, p. 34–45, 2021.

SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SILVA, F. T. M.; ATAÍDE, C. H. Valorization of *Eucalyptus urograndis* wood via carbonization: Product yields and characterization. **Energy**, v. 172, p. 509–516, 2019.

VEGA, M.; HARRISON, P.; HAMILTON, M.; MUSK, R.; ADAMS, P.; POTTS, B. Modelling wood property variation among Tasmanian *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 491, p. 119203, 2021.

VITAL, B. R. Métodos de determinação de densidade da madeira. (Boletim Técnico, 1). Viçosa: **SIF**. 21p., 1984.

VIDAURRE, G.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. D. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.