



QUALIDADE DA MADEIRA DE TRÊS CLONES COMERCIAIS DE *Eucalyptus* PARA USO ENERGÉTICO

Taiana Guimarães ARRIEL¹, Isabel Cristina Nogueira Alves de MELO¹, Luciano Junqueira COSTA¹, Breno Assis LOUREIRO¹, Taís Regina Lima ABREU¹, Yllian Banchieri RIBEIRO¹ e Paulo Fernando TRUGILHO¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Brasil

RESUMO: A evolução do consumo mundial de energia com base nos combustíveis fósseis conduziu a humanidade para uma matriz energética insegura, cara e, negativa para o ambiente. Isso tem levado muitos países a considerarem a necessidade de profundas mudanças, incluindo a intensificação do aproveitamento de outras fontes energéticas, sobretudo as renováveis, incluindo-se a madeira. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de três clones comerciais de *Eucalyptus* (VM01, MN144, MN463) quanto ao crescimento da árvore e algumas características da madeira visando à sua utilização como fonte energética em termelétrica. A amostragem na árvore consistiu na retirada de discos de 2,5 cm de espessura nas porções base (0%), 2, 10, 30, 50, 70 e 100% da altura comercial. Os discos foram subdivididos em quatro cunhas passando pela medula, em que duas opostas foram destinadas a determinação da densidade básica e as outras duas as análises químicas e energéticas da madeira. Para as características do crescimento da árvore observou-se que não houve variação estatística para o diâmetro a altura do peito (DAP) dos três clones analisados. O clone VM01 apresentou menores valores de crescimento da árvore, devido a baixa massa seca do material. Para as características da madeira, o clone VM01 apresentou a maior densidade básica, teor de carbono fixo, densidade energética e menor teor de cinzas. A madeira do clone VM01 destacou-se das demais para o uso energético, por possuir características apropriadas, porém ressalta-se a importância do melhoramento genético para as características de crescimento desse material.

Palavras-chave: Biomassa, energia renovável, combustível.

THREE WOOD QUALITY *Eucalyptus* CLONES COMMERCIAL FOR ENERGY USE

ABSTRACT: The evolution of global energy consumption based on fossil fuels has led humanity to an insecure energy matrix, guy and bad for the environment. This has led many countries to consider the need for profound changes, including the intensification of the use of other energy sources, especially renewables, including the wood. The objective of this work was to evaluate the quality of the wood of three commercial clones of *Eucalyptus* (VM01, MN144, MN463) on the growth of the tree and some wood characteristics with a view to its use as an energy source for fuel. The sample consisted of extracting the tree of 2.5 cm thick discs at base portions (0%), 2, 10, 30, 50, 70 and 100% of the commercial height. The discs were subdivided into four wedges passing through the cord, wherein two opposing were aimed at determining the specific gravity and the other two chemical and energetic analysis of timber. For tree growth characteristics it was observed that there was no statistical variation to the diameter at breast height (DBH) of the three analyzed clones. The VM01 clone presented lower tree growth figures due to low dry mass of the material. For wood characteristics, the



clone VM01 had the highest density, fixed carbon content, energy density and lower ash content. The wood of VM01 clone stood out from the others for energy use, by having appropriate characteristics, but it emphasizes the importance of breeding to the growth characteristics of this material.

Keywords: Biomass, renewable energy, combustion.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem responsabilidades dentro da economia nacional, podendo-se citar: principal fonte de suprimento de madeira das cadeias produtivas, contando com mais de 6 milhões de hectares de floresta plantada (Eucalipto e *Pinus*), ocupando a sétima posição em área reflorestada no mundo. Além disso, a rentabilidade anual do cultivo do eucalipto é superior a outras atividades e culturas agrícolas como pecuária de corte, cultivo de soja e milho.

Na temática energética, a madeira, tradicionalmente chamada de lenha, sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e cocção de alimentos. Com o passar dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007).

No tocante a florestas plantadas para produção de energia, Soares Filho et al. (2002), citado por Soares (2006), a biomassa florestal pode ser utilizada como fonte de energia limpa, renovável e geradora de empregos. Tais características permitem a sua utilização como fonte alternativa de energia, seja pela queima direta da madeira, como carvão, aproveitamento de resíduos da exploração e aproveitamento de óleos essenciais, alcatrão e ácido pirolenhoso (COUTO et al., 2000).

A utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se, entre outros, no conhecimento do seu poder calorífico, que é definido como a medida da quantidade de energia que um material combustível libera quando queimado totalmente, dado normalmente em cal/g ou kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos. Em todo combustível pode-se obter três tipos de poder calorífico: poder calorífico superior, inferior e líquido.

Outra característica a ser observada é o seu potencial para produção de biomassa (VALE et al., 2000). Além disso, vários autores na literatura concordam que as características tecnológicas mais relevantes referentes à madeira são a umidade, teor de lignina, densidade básica, densidade energética; além da estimativa de massa seca (LIMA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2012; TRUGILHO et al., 2001). Além dessas, para medir o desempenho energético e características tecnológicas da madeira pode-se citar como exemplos: os teores de carbono, hidrogênio, oxigênio e cinzas, pois são fundamentais para a avaliação de combustíveis lignocelulósicos (PROTÁSIO et al., 2011).

Para uso por meio da queima direta (combustão) é de grande importância determinar o poder calorífico líquido da biomassa, pois este leva em consideração a umidade contida no material, representando desta forma a energia realmente disponível durante a queima do combustível.

Como geração de energia elétrica, podemos citar as usinas termelétricas. Energia termelétrica é toda e qualquer energia produzida por uma central cujo funcionamento ocorre a partir da geração de calor resultante da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Os principais combustíveis utilizados nas usinas termelétricas são o carvão mineral, a nafta, o petróleo, o gás natural e a biomassa. Algumas das características desejáveis na madeira para



produção de energia são altos teores de carbono fixo associado a menores teores de materiais voláteis e de componentes inorgânicos, pois desta forma têm-se um melhor aproveitamento da energia contida na madeira.

No atual contexto econômico algumas empresas florestais tem buscado ampliar o uso de seu principal produto, no caso a madeira, criando fontes alternativas para manter-se no mercado mesmo em períodos de crise. Isto ressalta a versatilidade da madeira quanto ao seu uso múltiplo, por exemplo, plantios originalmente destinados à produção de carvão vegetal, podem ser utilizados para queima direta da madeira. Portanto, é importante, se ter para o uso da madeira, planos diversificados para sua utilização e consumo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da madeira de três clones comerciais de *Eucalyptus* (VM01, MN144, MN463) quanto ao crescimento da árvore e algumas características da madeira visando à sua utilização como fonte energética em termelétrica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Origem e preparo do material

Neste estudo foram utilizadas madeiras de 3 clones comerciais de *Eucalyptus*, VM01, MN144, MN463, com idade de aproximadamente 7 anos, oriundos de plantio pertencente a Vallourec Florestal, localizado na fazenda Brejão, em Brasilândia de Minas, região Noroeste do estado de Minas Gerais. A região de coleta localiza-se a 16°58' S e 45°50' O e apresenta temperatura média anual e precipitação anual acumulada de 23,6°C e 1152 mm, respectivamente.

Foram abatidas cinco árvores de cada material, totalizando 15 árvores. Em cada árvore abatida o fuste foi dividido em sete posições longitudinais de amostragem (0%, 2, 10, 30, 50, 70, 100% da altura comercial), segundo metodologia proposta por Downes et. al (1997), onde foram retirados discos de 2,5 cm de espessura para a determinação das características químicas e energéticas da madeira dos materiais genéticos avaliados.

Os discos foram subdivididos em quatro cunhas, passando pela medula, em que duas cunhas opostas foram destinadas a determinação da densidade básica e as outras duas opostas para as análises químicas e energéticas.

As amostras destinadas às análises químicas e energéticas foram retiradas das cunhas opostas de maiores dimensões com auxílio de uma plaina elétrica. As maravalhas obtidas foram moídas em moinho de facas, tipo Willey, para redução dimensional das partículas. Após a moagem do material, as partículas foram classificadas com auxílio de conjunto de peneiras sobrepostas, sendo que as análises, químicas e energéticas, foram utilizadas aquelas partículas que passaram na peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh. As partículas devidamente classificadas foram acondicionadas em câmara climática a 60 ±5% de umidade relativa e 20 ±3°C para estabilização da umidade base seca da serragem em torno de 12%.

2.2 Determinação da densidade básica

A densidade básica da madeira foi determinada segundo a norma analítica NBR 11941 da Associação brasileira de normas técnicas - ABNT (2003). Foi obtida a densidade básica média da árvore como sendo a média aritmética das posições longitudinais de amostragem.



2.3 Determinação do poder calorífico superior, inferior e líquido

O poder calorífico superior foi determinado em calorímetro conforme a norma NBR 8633 da Associação brasileira de normas técnicas - ABNT (1983). O poder calorífico inferior (PCI) e o líquido (PCL) foram estimados conforme as equações 1 e 2, respectivamente.

$$PCI = PCS - 6 \times 9H \quad (1)$$

$$PCL = \{ [PCI - (6 \times U)] / (100 + U) \} \times 100 \quad (2)$$

em que, PCS é o poder calorífico superior (kcal/kg), H é o teor de hidrogênio elementar (%) e U é o teor de umidade na base seca (%).

O teor de hidrogênio elementar foi considerado como sendo de 6% para todos os materiais genéticos avaliados.

Para o cálculo do PCL considerou-se umidade base seca da madeira de 35%, valor próximo das condições reais em aplicação.

2.4 Análise química imediata

A análise química imediata, que determina os teores de umidade, de materiais voláteis, de cinzas e, por diferença, o de carbono fixo, foi obtida pela norma NBR 8112 da ABNT (1986).

Santos et al. (2013) ressaltaram que os valores obtidos por meio da análise química imediata da madeira são importantes, principalmente quando se faz a queima direta da madeira (combustão), pois essas variáveis afetam a velocidade de queima, bem com a homogeneidade da chama na câmara de combustão. Os autores ainda afirmaram que a porcentagem de materiais voláteis na madeira expressa a sua queima no estado gasoso e esses são compostos, principalmente, de hidrogênio, hidrocarbonetos, CO e CO₂. Por outro lado, o teor de carbono fixo expressa sua queima no estado sólido e é responsável pela formação da massa amorfa.

2.5 Densidade energética e energia armazenada na madeira

As estimativas de densidade energética da madeira foram determinadas conforme a equação 3.

$$DE = (PC \times DB) \quad (3)$$

onde, DE é a densidade energética (Kcal.m⁻³), sendo que este valor foi dividido por 10⁻⁶ para ser expresso em Gcal.m⁻³; PC é o poder calorífico superior, inferior e líquido (kcal.kg⁻¹) e DB é a densidade básica da madeira (kg.m⁻³).

A energia armazenada na madeira foi estimada conforme as equações 4 e 5.

$$E_1 = DE \times V_{sc} \quad (4)$$

$$E_2 = DE \times N \quad (5)$$

em que, E₁ e E₂ são as estimativas da energia armazenada na madeira, dados em Gcal e Gcal.ha⁻¹, respectivamente, V_{sc} é o volume sem casca (m³) e N é o número de árvores por hectare, considerando o espaçamento de plantio dos clones (o índice de mortalidade não foi considerado para este estudo).



2.6 Análise estatística

Na avaliação do experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições (árvores-amostra). A análise de variância foi determinada com software Sisvar 5.3. Foi utilizada a análise de regressão para verificar a relação funcional entre algumas das características da madeira, como crescimento, propriedades energéticas, entre outras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do crescimento

A Tabela 1 apresenta o resumo da análise de variância para as características de crescimento da árvore. Observa-se que o efeito de clone foi não significativo somente para o diâmetro à altura do peito.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as características de crescimento da árvore

F.V	GL	QM				
		DAP	Ht	Hc	Vcc	Vsc
Clone	2	0,006827 ns	58,0846*	60,6420*	0,0067*	0,0041*
Erro	12	0,058027	0,3373	1,1916	0,0019	0,0001
Total	14	-	-	-	-	-
Média		14,98	23,14	19,12	0,19	0,16
CV		1,61	2,51	5,71	7,27	7,28

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; DAP: diâmetro a altura do peito (cm); Ht e Hc: altura total e comercial (m); Vcc e Vsc: volume com e sem casca (m³); CV: Coeficiente de variação experimental (%); *: significativo, a 5%, pelo Teste F; ns: não significativo, a 5%, pelo Teste F.

A Tabela 2 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizado. O clone MN144 foi o que apresentou o maior volume individual com e sem casca. O clone VM1 foi o que apresentou os menores valores das características de crescimento da árvore, diferenciando-se dos demais clones.

Tabela 2. Valores médios das características de crescimento e o teste de comparação múltipla realizado

Clone	Médias				
	DAP	Ht	Hc	Vcc	Vsc
VM01	14,96 a	19,22 b	15,10 b	0,1500 b	0,1280 b
MN463	14,96 a	25,34 a	21,22 a	0,2040 a	0,1720 a
MN144	15,02 a	24,88 a	21,04 a	0,2200 a	0,1820 a

DAP: diâmetro a altura do peito; Ht e Hc: altura total e comercial; Vcc e Vsc: volume com e sem casca. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.



3.2 Caracterização da madeira

O resumo da análise de variância para as características físicas e químicas avaliadas na madeira encontra-se na Tabela 3. Verifica-se que o efeito de clone foi significativo para todas as características, exceto para o teor de cinzas na madeira.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as características da madeira

F.V	GL	Quadrado Médio				
		DB	MS	TMV	TCF	TCz
Clone	2	6562,33*	401,06*	4,68*	4,82*	0,009 ns
Erro	12	206,87	44,10	0,46	0,44	0,004
Total	14	-	-	-	-	-
Média		480,18	76,48	81,83	18,03	0,27
CV		3,00	8,68	0,84	3,70	25,36

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; DB: densidade básica em $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; MS: massa seca do fuste em kg; TMV, TCF e TCz: teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas em %; *: significativo, a 5%, pelo Teste F; ns: não significativo, a 5%, pelo Teste F.

A Tabela 4 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizado. O clone VM1 foi o que apresentou o maior valor médio de densidade básica da madeira, carbono fixo e o menor teor de materiais voláteis, diferindo dos demais clones. Entretanto, apresentou a menor estimativa de massa seca, que foi mais influenciada pelo baixo crescimento volumétrico desse material genético. Apesar disso, este clone apresentou características desejáveis à utilização como fonte energética.

Tabela 4. Comparação múltipla de médias para as características da madeira

Clone	Médias				
	DB	MS	TMV	TCF	TCz
VM01	520,66 a	66,16 b	80,72 b	19,16 a	0,27 a
MN463	469,10 b	81,02 a	82,26 a	17,60 b	0,23 a
MN144	450,79 b	82,25 a	82,51 a	17,34 b	0,32 a

DB: densidade básica (kg/m^3); MS: massa seca do fuste (kg); TMV, TCF e TCz: teor de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas (%). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Os resultados médios de densidade básica (Tabela 4) encontram-se de acordo com os de Lima et al. (2000), que estudaram o comportamento de 26 clones do gênero *Eucalyptus*. Os autores relataram uma variação da densidade básica da madeira entre 436 e 577 kg/m^3 , enquanto que Cruz et al. (2003) encontraram uma média de 505 kg/m^3 , em um estudo com 6 clones de *Eucalyptus urophylla*, com idades variando de 5,5 a 10 anos.

Zanuncio et al. (2013), estudando os clones de *Eucalyptus urophylla*, MN 463 e VM04 encontraram densidade básica média igual a 486 e 552 kg/m^3 respectivamente, resultados estes semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Os valores médios do teor de materiais voláteis, de carbono fixo e cinzas encontrados, sendo de 81,42%, 17,82% e 0,79%, respectivamente, estão dentro da faixa observada para a madeira de folhosas (BRAND, 2010).



3.3 Caracterização energética da madeira

A Tabela 5 apresenta um resumo da análise de variância para as características energéticas da madeira. O efeito de clone foi não significativo para o poder calorífico superior, inferior e líquido, porém foi significativo para a densidade energética e a energia armazenada na madeira.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as características energéticas da madeira

FV	GL	QM					
		PCS	PCI	PCL	DE	E ₁	E ₂
Clone	2	1118,46 ns	1118,46 ns	610,40 ns	0,1500*	0,0079*	13500,07*
Erro	12	3019,40	3019,40	1664,96	0,0053	0,0008	1484,16
Total	14	-	-	-	-	-	-
Média		4578	4254	2996	2,19	0,34	454,98
CV		1,20	1,29	1,36	3,31	8,47	8,47

FV: fator de variação; GL: graus de liberdade; PCS e PCI: poder calorífico superior e inferior em kcal/kg; PCL: poder calorífico líquido na umidade de 35% b.s. em kcal/kg; DE: densidade energética em Gcal/m³; E₁ e E₂: energia armazenada na biomassa (Gcal e Gcal/ha); *: significativo, a 5%, pelo Teste F; ns: não significativo, a 5%, pelo Teste F.

A Tabela 6 apresenta os valores médios e o teste de comparação múltipla realizado nas características energéticas da madeira. Pela tabela 7, nota-se que o material VM01 apresentou maior valor médio de densidade energética, porém apresentou menores valores de energia armazenada na biomassa.

Tabela 6. Comparação múltipla de médias para as características energéticas da madeira

Clone	Médias					
	PCS	PCI	PCL	DE	E ₁	E ₂
VM01	4595 a	4271 a	3008 a	2,39 a	0,3039 b	395,10 b
MN463	4573 a	4249 a	2992 a	2,14 b	0,3704 a	481,51 a
MN144	4566 a	4242 a	2987 a	2,05 b	0,3756 a	488,31 a

PCS e PCI: poder calorífico superior e inferior em kcal/kg; PCL: poder calorífico líquido na umidade de 35% b.s. em kcal/kg; DE: densidade energética em Gcal/m³; E₁ e E₂: energia armazenada na biomassa (Gcal e Gcal/ha). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Protásio et al. (2013), selecionando clones de *Eucalyptus* sp., aos 42 meses de idade, para a produção direta de energia e/ou carvão vegetal, observaram para a densidade básica, estoque de carbono e densidade energética (considerando o PCS) uma faixa distinta com valores de 506 kg/m³, 231 kg/m³ e 2,31 Gcal/m³. Protásio et. al (2014) em outro estudo com clones de *Eucalyptus*, com idades de 49 e 61 meses, encontraram valores médios de PCS e PCI de 4615 e 4268; e de densidade energética variando entre 2,09 e 2,26 Gcal/m³. Valores bem semelhantes aos obtidos nesse trabalho.

A Figura 1 mostra a relação funcional entre o teor de umidade e o poder calorífico. Pode-se observar que o valor calórico da madeira sofre grande redução à medida que o teor de umidade aumenta, apresentando um comportamento linear. Para destinar a madeira ao uso



energético deve-se procurar secar a mesma para que se possa aproveitar melhor a sua energia armazenada.

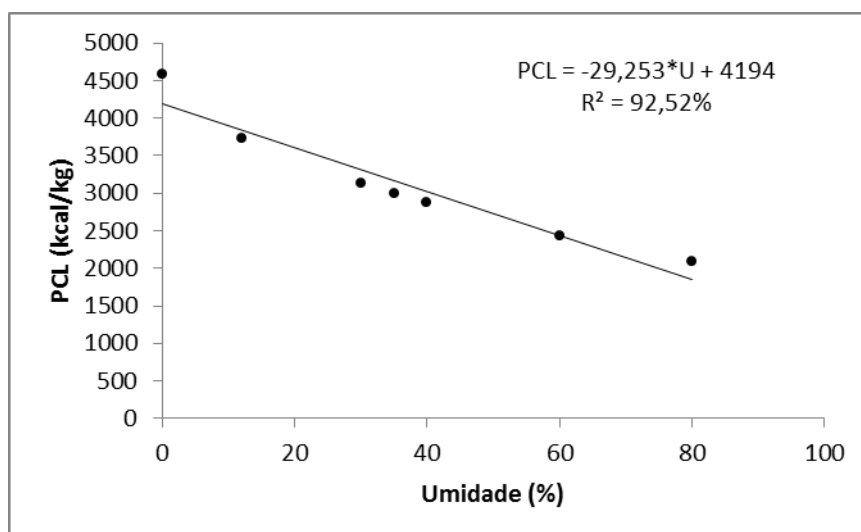


Figura 1. Relação funcional entre o teor de umidade e o poder calorífico da madeira.

4. CONCLUSÃO

Recomenda-se, para o uso energético da madeira, o clone VM01, por possuir características apropriadas, como maiores valores de densidade básica e poder calorífico, proporcionando conseqüentemente maior densidade energética. Entretanto ressalta-se a importância do melhoramento das características de crescimento desse material, via, por exemplo, a hibridação ou os tratamentos silviculturais, o espaçamento de plantio, a fertilização adequada, e a idade de corte.

Embora o clone VM01 tenha se destacado, os outros dois materiais analisados também possuem potencial para emprego energético, uma vez que as características apresentadas por estes encontram-se dentro do desejável para produção de energia.

Como esperado, o poder calorífico apresentou uma forte relação negativa com o teor de umidade, o que destaca a importância da secagem da madeira para o uso energético.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Vallourec Florestal pela disponibilidade do material estudado; a CNPq e a CAPES pela ajuda financeira. Ao apoio da FAPEMIG por conceder recursos financeiros para aquisição de suplementos fundamentais para a realização desse trabalho, bem como viabilizar a participação no II CBCTEM.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

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

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**. v. 21 n. 59. 2007.

DOWNES, B. J.; A. GLAISTER; P. S. LAKE. Spatial variation in the force required to initiate rock movement in 4 upland streams: implications for estimating disturbance frequencies. **Journal of the North American Benthological Society**, 1997. 16:203–220.

COUTO, L.; FONSECA, E.M.B.; MÜLLER, M. D. O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: aspectos técnicos, econômicos sociais e ambientais. Belo Horizonte: **CEMIG**, 2000. 44p.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B.; Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, dez. 2003.

LIMA, E. A; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09, mar. 2011.

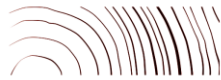
LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Genotype-environment interaction in Wood basic density of *Eucalyptus* clones. New York: **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 3, p. 197-206, 2000.

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**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E. R. S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16 n.11, p. 1252-1258, 2012.

PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 97, p. 15-28, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, mar. 2014.



SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, P. F.; ALVES, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 491-502, 2013.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, E. O.; LELLES, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**. ANO IV, N. 08, 2006.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécie de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, jan./mar. 2010.

VALVERDE, S. R.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; NEIVA, S. A. O comportamento do mercado da madeira de eucalipto no Brasil. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 393-403, 2004.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; CARVALHO, A. G.; TRUGILHO, P. F. Secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para uso energético. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 353-360, set. 2013.