

Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de

Pernambuco

Brasil

Vinha Zanuncio, Antônio José; Guimarães Carvalho, Amélia; Mousinho Gomes Carvalho
Silva, Elisa; Campos Monteiro, Thiago; Tarcisio Lima, José; Moreira da Silva, José
Reinaldo

Propriedades energéticas da madeira e carvão de Corymbia e Eucalyptus em diferentes
condições de secagem

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 10, núm. 3, 2015, pp. 432-436

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119041746016>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Propriedades energéticas da madeira e carvão de *Corymbia* e *Eucalyptus* em diferentes condições de secagem

Antônio José Vinha Zanuncio¹, Amélia Guimarães Carvalho¹, Elisa Mousinho Gomes Carvalho Silva²,
Thiago Campos Monteiro³, José Tarcisio Lima², José Reinaldo Moreira da Silva²

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Av. PH Rolfs, s/n, Centro, CEP 36571-000, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: ajvzanuncio@yahoo.com.br; ameliagcarvalho@gmail.com

² Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Campus da UFLA, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. Caixa Postal 37. E-mail: jtlima@dcf.ufla.br; jreinaldo@dcf.ufla.br; elisa.mousinho@gmail.com

³ Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias, Avenida Universitária, 1000, Universitário, CEP 39404-547, Montes Claros-MG, Brasil. E-mail: tcmforest@yahoo.com

RESUMO

O controle da umidade da madeira destinada a carbonização é fundamental para produção de carvão. O objetivo foi avaliar a secagem e a influência da umidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* na carbonização desse material. A secagem e o poder calorífico líquido de toras de *E. urophylla* e *C. citriodora* foram acompanhados por 90 dias. Essas toras foram carbonizadas após 30, 60 e 90 dias de secagem assim como na condição anidra e tiveram o rendimento gravimétrico, química imediata e poder calorífico avaliados. As toras de *C. citriodora* apresentaram menor umidade e maior poder calorífico líquido em todo o período e atingiram umidade inferior a 30%, recomendada para carbonização. Dos parâmetros avaliados para a carbonização, a umidade da madeira afetou apenas o rendimento gravimétrico na base úmida.

Palavras-chave: energia, poder calorífico, umidade

Energy properties from wood and charcoal of Corymbia and Eucalyptus in different drying conditions

ABSTRACT

Humidity control of wood for carbonization is essential for charcoal production. The objective was to evaluate drying and the influence of moisture of *Eucalyptus urophylla* and *Corymbia citriodora* wood on carbonization of the material. Drying and net calorific value of *E. urophylla* and *C. citriodora* logs were followed for 90 days. These samples were carbonized after 30, 60 and 90 days of drying as well as without moisture and gravimetric yield, ash, volatile matter, fixed carbon and calorific value were evaluated. The logs of *C. citriodora* showed lower moisture and higher net calorific value throughout the period, reaching less than 30% moisture, recommended for carbonization. Considering the carbonization parameters evaluated, the wood moisture affected only the gravimetric yield on a wet basis.

Key words: energy, calorific value, moisture

Introdução

A principal fonte de energia no mundo é a queima de combustíveis fósseis, o que agrava o efeito estufa. Para reverter este cenário, a produção de carvão vegetal é uma alternativa devido à qualidade do produto e seu caráter renovável.

A produção de carvão vegetal com preço competitivo em relação ao mineral é um desafio. Em 2013, foram produzidos 17 milhões de m³ de toras de eucalipto para produção de carvão (IBA, 2014). Entretanto, mesmo com uma produção tão alta, problemas como a secagem da madeira ainda são um desafio para a competitividade do carvão (Casal et al., 2010).

A alta umidade da madeira recém cortada inviabiliza seu uso para energia, sendo que a carbonização não deve ser feita com umidade acima de 30% (Brand et al., 2011). A estocagem ao ar livre da madeira é o método mais empregado para reduzir a umidade da madeira por ter menor custo, mas demanda longo tempo de secagem.

A taxa de secagem de toras é maior nos primeiros 15 dias devido à perda de água livre (Rezende et al., 2010; Stangerlin et al., 2012). A secagem da madeira depende de fatores da mesma, como anatomia, densidade e dimensões das peças e ambientais, como temperatura, umidade relativa e velocidade dos ventos (Mugabi et al., 2010; Moya et al., 2012; Berberovic & Milota, 2011; Watanabe et al., 2012; Muñoz & Moya, 2008).

O poder calorífico líquido da madeira é reduzido em 2 MJ kg⁻¹ a cada 10% de aumento da umidade (Swithenbank et al., 2011). Ainda segundo estes autores, a madeira não necessita estar completamente seca, pois, após certo valor, o incremento do poder calorífico não compensa o esforço para se continuar a secagem, mas isto varia entre espécies e condições ambientais.

A carbonização da madeira com alta umidade reduz o rendimento gravimétrico, pois parte do material lenhoso é queimado para retirada da água na forma de vapor (Rousset et al., 2011) e aumenta a friabilidade do carvão (Oliveira et al. 1982).

A secagem tem sido estudada, principalmente, para madeira serrada, com poucos trabalhos para a roliça. O efeito da umidade na carbonização utiliza material com umidade homogênea em todo o corpo de prova (Rousset et al., 2011), o que não corresponde a situação de campo, onde a umidade tem distribuição heterogênea ao longo da tora (Rezende et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a umidade de toras e as propriedades energéticas da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Corymbia citriodora* Hill & Johnson.

Material e Métodos

Uma tora com 1,1 m foi retirada e descascada na altura de 1,3 m do solo de três troncos de *Corymbia citriodora* produzidos via seminal, proveniente de Belo Horizonte-MG e dos clones VM4 (*Eucalyptus urophylla*) e Mn463 (*E. urophylla*), provenientes de Paraopeba, MG, totalizando nove toras.

Imediatamente após a derrubada das árvores, um disco de cinco centímetros foi removido de cada extremidade de cada

tora e sua umidade determinada (NBR 11941- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2003). A umidade média entre os discos foi inferida como a umidade da tora. Os mesmos discos foram utilizados para determinar a densidade básica (NBR 11941- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2003) e poder calorífico superior da madeira (NBR 8633 - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1983a).

A superfície transversal das toras foi impermeabilizada e estas condicionadas em local coberto para secagem por 90 dias. As toras foram pesadas, a cada dois dias, nos primeiros 30 dias e a cada quatro, nos 60 seguintes. Com base na umidade e poder calorífico superior, o poder calorífico líquido foi calculado conforme Eq. (1).

$$PCI = PCs - [0,0144 \cdot PCs \cdot U(\%)] \quad (1)$$

em que:

PCI - poder calorífico líquido;

PCs - poder calorífico superior;

U (%) - umidade da madeira, na base úmida, %.

Baseado no comportamento de perda de umidade em função do tempo descrito por Rezende et al., (2010), os modelos para a umidade e o poder calorífico líquido das toras em função dos dias de secagem foram criadas conforme modelo da Eq. (2).

$$Y = a + b \cdot \text{dias}^{0.5} \quad (2)$$

em que:

Y - umidade (%) ou poder calorífico líquido (cal g⁻¹);

a, b - parâmetros da equação;

dias - número de dias de secagem.

A madeira foi carbonizada após 30, 60 e 90 dias de secagem e na condição anidra. Um disco de cinco centímetros foi retirado de cada extremidade para carbonização e a tora remanescente, novamente, impermeabilizada na superfície transversal para prosseguimento da secagem.

A carbonização utilizou taxa de aquecimento de 1,67 °C min⁻¹, temperatura final de 450 °C e tempo de residência de 30 min. O rendimento gravimétrico na base seca foi determinado conforme Eq. (3).

$$RGbs(\%) = \left(\frac{Mbs}{Mma} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

em que:

RGbs (%) - rendimento gravimétrico na base seca, %;

Mbs - massa seca do carvão, g;

Mma - massa da madeira anidra, g.

E na base úmida conforme Eq. (4):

$$RGbs(\%) = \left(\frac{Mbs}{Mmu} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

em que:

R_{Gbu} (%) - rendimento gravimétrico na base úmida, %;

M_{bs} - massa seca do carvão, g;

M_{mu} - massa da madeira no respectivo teor de umidade, g

A análise imediata seguiu a NBR 8112 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1983b); densidade relativa aparente seguiu a NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2003) e o poder calorífico superior a NBR 8633 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1983a).

Os resultados de rendimento gravimétrico na base seca e úmida, química imediata e poder calorífico do carvão foram realizados em triplicata submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

A densidade básica de *Corymbia citriodora*, Mn463 (*Eucalyptus urophylla*) e VM4 (*E. urophylla*) foi, respectivamente, de 0,676; 0,491 e 0,531 g cm⁻³.

A umidade inicial foi 78,39; 119,74 e 89,44%, enquanto após 90 dias de secagem foi de 26,44; 57,64 e 35,43% para *C. citriodora*, Mn463 (*E. urophylla*) e VM4 (*E. urophylla*) respectivamente, com maior perda de água livre do clone Mn463 (*E. urophylla*) (Figura 1). A maior taxa de secagem dos clones de *E. urophylla* pode ser explicada pela maior umidade inicial e menor densidade dos mesmos. Madeira com baixa densidade apresenta maior quantidade de espaços vazios que podem ser preenchidos com água, o que aumenta a umidade da madeira, no entanto, estes mesmos espaços facilitam a saída de água da madeira, o que aumenta a taxa de secagem (Berberovic & Milota, 2011; Mugabi et al., 2010; Watanabe et al., 2012).

O poder calorífico superior foi de 19,26; 19,97 e 19,89 KJ g⁻¹ e o líquido de 9,61, 7,56 e 9,18 KJ g⁻¹ para as toras recém abatidas e de 14,67, 11,64 e 13,96 KJ g⁻¹ após 90 dias de secagem para *C. citriodora*, Mn463 (*E. urophylla*) e VM4 (*E. urophylla*), respectivamente (Figura 2). A espécie *C. citriodora* apresentou menor poder calorífico superior, entretanto a menor umidade resultou em maior poder calorífico líquido durante todo o período avaliado, evidenciando a importância da

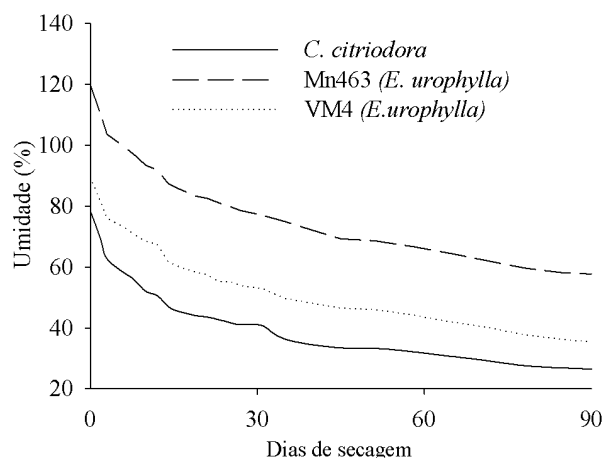


Figura 1. Curvas de umidade de toras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* em função dos dias de secagem

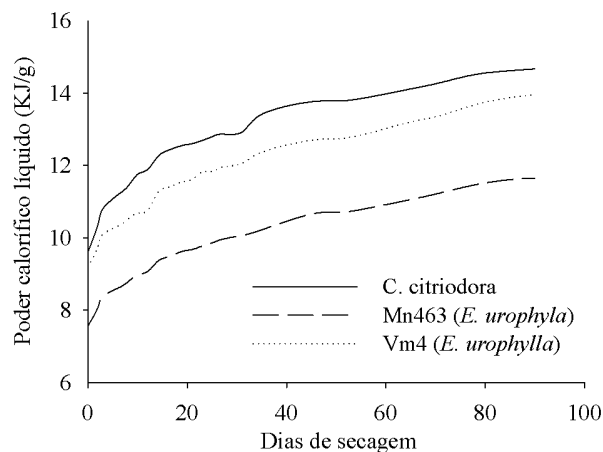


Figura 2. Curvas do poder calorífico líquido de toras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* em função dos dias de secagem

secagem. A redução da umidade resulta em menor tempo de carbonização (Arruda et al., 2011). O poder calorífico superior foi semelhante aos relatados para materiais dos gêneros *Eucalyptus* e *Eschweilera*, entre 17,78 e 19,91 KJ g⁻¹ (Vale et al., 2000; Moutinho et al., 2011; Santos et al., 2011).

A mudança no poder calorífico líquido acompanhou a perda de umidade de forma inversa, com aumento de 24,62; 24,73 e 23,55% no primeiro mês; 9,71; 9,84 e 9,08% no segundo e 7,19; 9,65 e 10,40% no terceiro mês para *C. citriodora*, Mn463 (*E. urophylla*) e VM4 (*E. urophylla*) respectivamente em relação ao poder calorífico líquido das toras recém abatidas.

O coeficiente de correlação dos modelos foi maior que 0,85 para a umidade e poder calorífico líquido da madeira em relação ao número de dias de secagem (Tabela 1). O desvio padrão foi de até 9,53% e 0,2124 KJ g⁻¹ dos modelos para umidade e poder calorífico líquido, respectivamente.

As toras de *C. citriodora* apresentaram maior variação na umidade e no poder calorífico líquido entre si, pois foram produzidos via seminal. Isto dificultou a criação de modelos, reduziu o coeficiente de correlação e aumentou o desvio padrão. A menor variação entre os clones de *E. urophylla* deve-se a mesma composição genética e por terem sido plantados no mesmo local.

O rendimento gravimétrico da madeira, na base úmida, variou entre 19,53 e 20,88% para o primeiro mês de estocagem; 20,22 e 22,65% para o segundo; 22,99 e 23,78% para o terceiro e 29,78 e 34,22% para a madeira anidra carbonizada (Tabela 2). A densidade relativa aparente do carvão acompanhou a densidade básica da madeira, sendo que materiais carbonizados com diferentes umidades apresentaram densidades semelhantes (Tabela 2). O rendimento gravimétrico na base seca foi semelhante ao relatado para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, entre 30,3 e 34,5% (Oliveira et al., 2011; Santos et al., 2012).

Os materiais voláteis variaram de 18,68 a 26,59%, o teor de cinzas de 0,31 a 0,88%, o de carbono fixo de 73,1 e 80,64% e o poder calorífico superior de 30,98 e 32,44 KJ g⁻¹ (Tabela 2).

A madeira carbonizada de *Corymbia citriodora* apresentou rendimento gravimétrico na base úmida semelhante para 60 e 90 dias de secagem. A perda de 5,67% de umidade desta espécie no último mês de secagem não foi suficiente para diferenças

Tabela 1. Modelos estimados para a umidade e poder calorífico das toras em função dos dias de secagem

Árvore	Umidade das toras	r ²	σ
<i>Corymbia citriodora</i>	U (%) = 65,85533 - 4,46804 × dias ^{0,5}	0,8543	9,53
Mn 463 (<i>Eucalyptus urophylla</i>)	U (%) = 112,9063 - 6,18339 × dias ^{0,5}	0,9701	2,89
Vm 4 (<i>Eucalyptus urophylla</i>)	U (%) = 84,49735 - 5,43424 × dias ^{0,5}	0,9513	3,24
Árvore	Poder calorífico líquido das toras	r ²	σ
<i>Corymbia citriodora</i>	Pcl (KJ/g) = 10,02209 + 0,52335 × dias ^{0,5}	0,9742	0,2124
Mn 463 (<i>Eucalyptus urophylla</i>)	Pcl (KJ/g) = 7,61893 + 0,43562 × dias ^{0,5}	0,9949	0,0772
Vm 4 (<i>Eucalyptus urophylla</i>)	Pcl (KJ/g) = 9,19642 + 0,50864 × dias ^{0,5}	0,9915	0,1169

r²: coeficiente de correlação; σ: desvio padrão**Tabela 2.** Material, tratamentos (trat.), rendimento gravimétrico em base úmida (RBU), rendimento gravimétrico em base seca (RBS), densidade aparente (Den.), materiais voláteis (MV), cinzas (Cin.), carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS) da madeira carbonizada com diferentes umidades

Material	Trat.	RBU (%)	RBS (%)	Den. (g cm ⁻³)	MV (%)	Cin. (%)	CF (%)	PCS (KJ g ⁻¹)
Mn 463 (<i>Eucalyptus urophylla</i>)	T1	19,13 ^(5,3) d	34,88 ^(7,7) a	0,306 ^(5,1) a	24,54 ^(6,8) b	0,39 ^(13,4) a	75,07 ^(6,3) a	32,04 ^(6,4) a
	T2	20,72 ^(6,2) c	33,45 ^(8,8) b	0,312 ^(4,5) a	24,90 ^(7,3) b	0,41 ^(12,4) a	74,69 ^(6,4) a	31,48 ^(7,3) a
	T3	23,09 ^(7,5) b	32,75 ^(6,2) b	0,304 ^(5,3) a	26,59 ^(6,3) a	0,31 ^(11,8) a	73,10 ^(6,2) b	31,74 ^(6,4) a
	T4	34,22 ^(8,6) a	34,22 ^(7,2) a	0,308 ^(5,6) a	24,90 ^(6,5) b	0,40 ^(12,4) a	74,70 ^(6,9) a	31,51 ^(9,7) a
VM 4 (<i>Eucalyptus urophylla</i>)	T1	20,65 ^(7,4) d	32,51 ^(10,2) a	0,345 ^(6,2) a	23,37 ^(7,1) a	0,57 ^(12,4) b	76,07 ^(6,1) c	31,44 ^(6,6) a
	T2	22,34 ^(7,6) c	31,34 ^(9,1) a	0,356 ^(4,2) a	19,46 ^(6,3) c	0,77 ^(12,5) a	79,77 ^(6,2) a	31,98 ^(6,3) b
	T3	23,78 ^(7,3) b	31,56 ^(6,8) a	0,353 ^(5,8) a	22,56 ^(7,4) ab	0,46 ^(11,4) b	76,98 ^(7,1) bc	30,82 ^(5,3) c
	T4	32,09 ^(9,8) a	32,09 ^(7,2) a	0,352 ^(4,8) a	21,56 ^(7,2) b	0,48 ^(12,5) b	77,96 ^(7,3) b	32,12 ^(5,4) ab
<i>Corymbia citriodora</i>	T1	20,88 ^(8,9) c	30,22 ^(8,1) b	0,523 ^(5,5) a	21,68 ^(6,4) a	0,80 ^(13,4) a	77,52 ^(6,3) b	31,27 ^(5,3) ab
	T2	22,65 ^(7,2) b	29,03 ^(7,6) b	0,511 ^(5,6) a	18,68 ^(5,9) b	0,68 ^(15,6) b	80,64 ^(7,1) a	31,37 ^(4,8) ab
	T3	23,28 ^(8,5) b	31,05 ^(8,3) a	0,548 ^(6,2) a	19,88 ^(6,3) b	0,50 ^(14,5) c	79,62 ^(7,3) a	31,52 ^(7,5) a
	T4	29,78 ^(9,1) a	29,78 ^(7,5) b	0,524 ^(6,3) a	22,78 ^(5,8) a	0,88 ^(15,6) a	76,34 ^(6,4) b	30,98 ^(6,9) b

T1, T2, T3 e T4: madeira carbonizada após 30, 60 e 90 dias de estocagem e na condição anidra, respectivamente. Médias na vertical, do mesmo material genético, seguidas por mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

entre tratamentos. Os clones Mn463 e VM4 apresentaram maior rendimento gravimétrico na base úmida após 90 dias de secagem.

As médias da química imediata e poder calorífico foram diferentes para um mesmo material genético, entretanto não foi possível encontrar uma relação destes parâmetros com o tempo de estocagem. A mufla forneceu a energia para a carbonização, o que minimiza os efeitos da umidade neste processo e padroniza o mesmo. Isto explica o fato de que materiais carbonizados com diferentes umidades resultem em produtos com características semelhantes.

A maior umidade dos materiais do clone Mn463 (*Eucalyptus urophylla*) carbonizados resultou em menor degradação térmica e maior teor de carbono fixo.

Conclusões

A secagem do material é importante para aumentar o poder calorífico líquido da madeira.

Corymbia citriodora apresentou menor umidade e maior poder calorífico em todo o período avaliado.

Os clones de *Eucalyptus urophylla* necessitaram tempo de secagem superior a 90 dias para chegarem à umidade de 30%, recomendada para carbonização.

A umidade da madeira carbonizada afetou, entre os parâmetros da carbonização, apenas o rendimento gravimétrico na base úmida.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e VM Florestal pelo apoio financeiro.

Literatura Citada

- Arruda, T. P. M.; Pimenta, A. S.; Vital, B. R.; Della Lucia, R. M.; Acosta, F. A. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. *Revista Árvore*, v.35, n.4, p.949-955, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000500020>>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Normas técnicas NBR 8633 Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: ABNT, 1983a. 13p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Normas técnicas NBR 8112. Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1983b. 6p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 11941: Madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.
- Berberovic, A.; Milota, M. R. Impact of wood variability on the drying rate at different moisture content levels. *Forest Products Journal*, v.61, n.6, p.435-442, 2011. <<http://dx.doi.org/10.13073/0015-7473-61.6.435>>.
- Brand, M. A.; Muñiz, G. I. B.; Quirino, W. F.; Brito, J. O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. *Biomass and Bioenergy*, v.35, n.7, p.2581-2588, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.005>>.
- Casal, M. D.; Gil, M. V.; Pevida, P.; Rubiera, F.; Pis, J. J. Influence of storage time on the quality and combustion behaviour of pine wood chips. *Energy*, v.35, n.7, p.3066-3071, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.048>>.
- Indústria Brasileira de Árvores - IBA. Anuário estatístico da IBA: ano base 2013. 2014. 100p. <http://www.bracelpa.org.br/shared/iba_2014_pt.pdf>. 21 Jun. 2014.

- Moutinho, V. H. P.; Couto, A. M.; Lima, J. T.; Aguiar, O. J. R.; Nogueira, M. O. G. Energetic characterization of Matá-Matá wood from the Brazilian rainforest (*Eschweilera Mart Ex Dc*). *Scientia Forestalis*, v.39, n.92, p.457-461, 2011. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr92/cap08.pdf>>. 22 Jun. 2014.
- Moya, R.; Tenorio, C.; Meyer, I. Influence of wood anatomy on moisture, content, shrinkage and drying defects in *Vochysia guatemalensis* Donn Sm. *Scientia Forestalis*, v.40, n.94, p.249-258, 2012. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr94/cap12.pdf>>. 22 Jun. 2014.
- Mugabi, P.; Rypstra, T.; Vermaas, H. F.; Nel, D. G. Relationships between drying defect parameters and some growth characteristics in kiln-dried South African grown *Eucalyptus grandis* poles. *European Journal of Wood Products*, v.68, n.3, p.329340, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1007/s00107-009-0375-4>>.
- Muñoz, F.; Moya, R. Moisture content variability in kiln dried *Gmelina arborea* wood: effect of radial position and anatomical features. *Journal of Wood Science*, v.54, n.4, p.318-322, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10086-008-0954-8>>.
- Oliveira, A. C.; Rocha, M. F. V.; Pereira, B. L. C.; Carneiro, A. C. O.; Carvalho, A. M. M. L.; Vital, B. R. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Floresta*, v.42, n.1, p.59-68, 2012. <<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26297>>.
- Oliveira, J. B.; Gomes, P. A.; Alameida, M. R. Caracterização do processo de fabricação de carvão em fornos de alvenaria. In: Penedo, W. R. (Ed.) Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, propriedades, controle de qualidade. Belo Horizonte: CETEC, 1982. p.63-102.
- Rezende, R. N.; Lima, J. T.; Silva, J. R. M.; Napoli, A.; Andrade, H. B.; Faria, A. L. R. Air drying of logs from *Eucalyptus urophylla* clone for carbonization use. *Cerne*, v.16, n.4, p.565-572, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000400016>>.
- Rousset, P. Figueiredo, C.; Souza, M. de; Quirino, W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. *Fuel Processing Technology*, v.92, p.1890-1897, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.05.005>>.
- Santos, R. C.; Carneiro, A. C. O.; Castro, A. F. M.; Castro, R. V. O.; Bianche, J. J.; Souza, M. M.; Cardoso, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, v.39, n.90, p.221-230, 2011. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap10.pdf>>. 22 Jun. 2014.
- Santos, R. C.; Carneiro, A. C. O.; Trugilho, P. F.; Mendes, L. M.; Carvalho, A. M. M. L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsidio para a produção de carvão vegetal. *Cerne*, v.18, n.1, p.143-151, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000100017>>.
- Stangerlin, D. M.; Melo, R. R.; Santini, E. J.; Cordeiro, S. A. Comparação econômica entre os métodos de secagem de madeira ao ar livre e em estufa solar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, suplemento, p.850-856, 2012. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa1986>>.
- Swithenbank, J.; Chen, Q.; Zhang, X.; Sharifi, V.; Pourkashanian, M. Wood would burn. *Biomass and Bioenergy*, v.35, n.3, p.999-1007, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.026>>.
- Vale, A. T.; Brasil, M. A. M.; Carvalho, C. M.; Veiga, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex- Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. *Cerne*, v.6, n.1, p.83-88, 2000. <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/13-02-2009261v6_n1_artigo%2010.pdf>. 22 Jun. 2014.
- Watanabe, K.; Kobayashi, I.; Kuroda, N.; Harada, N.; Noshiro, S. Predicting oven-dry density of sugi (*Cryptomeria japonica*) using near infrared (NIR) spectroscopy and its effect on performance of wood moisture meter. *Journal of Wood Science*, v.58, n.5, p.383-390, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10086-012-1268-4>>.