

ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE CARVÃO VEGETAL COMERCIAL PROVENIENTE DE CAPELINHA, MG

Eliene Moraes Afonso; Fernanda Marques Castro; Efigênia Suely Marques dos Reis; Ricardo Gomes de Oliveira, Bruno Oliveira Lafetá, Caroline Junqueira Sartori.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Av. Primeiro de Junho, 1043 - Centro, São João Evangelista - MG, 39705000, Brasil, elyenemoraes28@gmail.com, fernandamarquesifmg@gmail.com, marquesefigeniasuely@gmail.com, ricardo.gomes@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo, realizar análise imediata de carvão vegetal produzido no município de Capelinha-MG. As amostras de carvão vegetal de madeira de *Eucalyptus* sp foram obtidas por meio de doação, provenientes de dois tipos de fornos de carbonização: Forno circular, Forno RAC 110. Com relação à análise imediata determinou-se a umidade, teor de cinzas, teor de voláteis e carbono fixo. O Poder calorífico superior foi determinado em bomba calorimétrica e estimado com emprego da Equação de Goutal. Os dados foram analisados estatisticamente. Para todas as análises imediatas realizada verificou-se diferença estatística entre os diferentes fornos. Os valores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo foram de 3,93; 17,30; 0,63 e 78,15% para o forno circular e de 5,02; 24,47; 0,42 e 70,10% para o forno RAC 110 respectivamente. Já o Poder calorífico superior determinado pela bomba foram de 9883 e 7515 Kcal/Kg para Forno circular e RAC 110; já pela Equação de Goutal foram de 8432,20 e 8268,52 Kcal/Kg respectivamente.

Palavras-chave: Teor de carbono fixo. Teor de cinzas. Teor de Voláteis.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal.

Introdução

A produção de carvão vegetal é uma atividade econômica importante em Minas Gerais e em muitas outras regiões do país. Além de ser uma fonte de energia renovável, a produção de carvão vegetal é uma importante fonte de renda para pequenos produtores rurais que têm na atividade uma fonte de subsistência. O carvão vegetal é um material obtido pelo processo de carbonização ou pirólise da madeira, as quais são provenientes principalmente de árvores cultivadas, e substitui o carvão mineral, de origem fóssil, o que contribui para a redução na emissão de gases de efeito estufa na siderurgia, por exemplo. Assim, o setor nacional de árvores plantadas tem grande importância econômica, representando em 2019 1,2% do PIB Nacional com uma receita bruta total de R\$ 97,4 bilhões. O principal polo de consumo de carvão vegetal, com mais de 40% das empresas, encontra-se no Estado de Minas Gerais (IBÁ, 2020).

Dentre as biomassas, o carvão vegetal se destaca como importante fonte para o desenvolvimento sustentável. O carvão vegetal atua como agente redutor do minério de ferro e como fonte energética na indústria siderúrgica de ferro-gusa, aço e ferro-ligas, substituindo o carvão mineral, que já vem sofrendo restrições ecológicas na sua utilização. Além disso o carvão substitui outros combustíveis fósseis, como é o caso do gás natural ou gás liquefeito de petróleo para o preparo de alimentos (LANA, 2018). Entretanto, a maior parte do carvão vegetal produzido atualmente no Brasil, é proveniente de fornos rudimentares, de alvenaria, de baixo rendimento gravimétrico (DONATO et al., 2020). Normalmente esses fornos não possuem nenhum tipo de mecanização e tampouco instrumentos de medição das variáveis importantes do processo, prejudicando tanto o rendimento quanto à qualidade

final do produto. O processo é dependente de seus operadores, pois o controle da carbonização ocorre em acompanhamento da coloração dos gases gerados no processo (OLIVEIRA, 2009).

O processo ocorre sem controle das características da madeira, do processo de carbonização e das emissões atmosféricas, tendo como consequência, um produto final com propriedades físicas e químicas variáveis, o que compromete a sua qualidade e produtividade (DONATO, et al., 2020). A qualidade do carvão vegetal produzido é importante, pois afeta diretamente a eficiência energética e a qualidade dos produtos finais que utilizam o carvão como fonte de energia. O conhecimento da composição química de carvão é crucial para estimar a qualidade e, assim, controlar as características do processo que é empregado, uma vez que cada aplicação exige características específicas de o carvão. Para determinar sua química composição é realizada, entre outros, o imediato análises químicas. Essa análise ajuda a quantificar constituintes como carbono fixo, matéria volátil e cinzas (LANA et al., 2016).

Segundo Carneiro et al. (2014), na produção de carvão vegetal, o carbono é convertido em carbono fixo, sendo esse o principal responsável pela energia estocada no carvão. As cinzas são os componentes minerais que sobram da degradação dos constituintes da madeira e da casca, e por sua vez, podem ser prejudiciais no processo siderúrgico de determinados metais (VITAL et al., 1986). O teor de materiais voláteis determina a facilidade de ignição, a estabilidade da chama e a velocidade de combustão. Um alto teor de voláteis facilita a ignição e a combustão (RIBEIRO; VALE, 2006; ARANTES, 2009).

Diante do exposto, este projeto tem como objetivo caracterizar o carvão vegetal produzido em fornos circulares e retangular RAC 110, no município de Capelinha – MG.

Metodologia

Foram obtidos por doações, amostras de cerca de 2000 g de carvão vegetal produzidos no município de Capelinha, Minas Gerais. Os carvões são produzidos por fornos circulares de superfície, forno retangular RAC 110 com duas câmaras externas de combustão.

Para as análises de poder calorífico e análises químicas imediatas de umidade, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e cinzas as amostras foram moídas em moinho Wiley, e passadas em peneiras de 40 e 60 mesh, e utilizadas as amostras retidas na peneira de 60 mesh.

Em relação ao poder calorífico superior, foi realizado de acordo com a NBR 8633 (ABNT, 1984), em bomba calorimétrica, IKA C200, com amostras previamente secas em estufa.

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi também estimado de acordo com a Equação de Goutal (Mendes et al., 1982) (Equação 1), utilizando-se os valores de carbono Fixo (CF%), Materiais Voláteis (V%) e o coeficiente A dado pela relação $V/(V+CF)$.

$$PCS = (82 * CF) + (A * V) \quad \text{Eq. 1}$$

Para a determinação da umidade dos carvões, foram utilizados cerca de 1,0 g do carvão moído, em cadinhos de porcelana previamente secos e tarados. Os cadinhos com carvão foram levados à estufa regulada a $102 \pm 3^\circ\text{C}$, por um período de 2 horas. Logo após, foram retirados da estufa e armazenados em dessecador por cerca de 20 minutos para esfriar, e pesados para a determinação da umidade em base úmida.

Para a determinação dos materiais voláteis, utilizou-se o carvão (particulado e seco na determinação da umidade). Foram levados a mufla previamente aquecida e estabilizada a 950°C . Primeiramente os cadinhos, tampados, foram colocados na extremidade externa da mufla sobre a porta, onde ficou por dois minutos. Depois foram colocados na entrada da mufla ainda com a porta aberta por mais três minutos, para que os mesmos passassem por um pré-aquecimento. Feito isso, estes foram colocados no interior da mufla por seis minutos, com a porta fechada. Após esse período os cadinhos tampados foram retirados da mufla, e passaram-se para o dessecador por aproximadamente 30 minutos para esfriar a temperatura ambiente. Depois de esfriados, os materiais foram pesados, obtendo-se então a massa de material seco sem a presença de materiais voláteis. O teor de materiais voláteis do carvão vegetal foi calculado pela Equação 2:

$$TMV = \frac{M_f - M_{ms}}{M_f} * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

TMV: teor de materiais voláteis em %;
Mf: massa cadinho + massa da amostra seca em estufa (g); e
Mms: massa após o tratamento a 950°C (g).

Para a determinação do teor de cinzas, o material da análise anterior foi levado novamente a mufla para incineração total à temperatura de 750°C por 6 horas, sem a tampa do cadinho. Terminada a incineração, armazenou-se em dessecador por aproximadamente 30 minutos para posterior pesagem e obtenção da massa residual inorgânica. O teor de cinzas do carvão vegetal foi calculado pela Equação 3:

$$TCz = \frac{Mr}{M_f} * 100 \quad \text{Eq. 3}$$

TCz: teor de cinzas em %;
Mf: massa cadinho + massa da amostra seca em estufa (g); e
Mr: massa do resíduo após a incineração da matéria orgânica

A determinação do teor de carbono fixo (TCF) é uma medida indireta, obtida através do cálculo da Equação (4) utilizando os parâmetros previamente determinados.

$$TCF = 100 - (U + TMV + TCz) \quad \text{Eq. 4}$$

Os dados de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, foram submetidos a teste F de médias de modo a comparar estatisticamente estes valores médios nos dois diferentes fornos de carbonização, a 5% de significância com emprego do software SISVAR (FERREIRA, 2000)

Resultados

Os valores médios e seus respectivos desvios padrões das médias da análise química imediata estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1- Valores médios de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo do carvão vegetal de madeira de *Eucalyptus* sp.

Análises	Forno circular	RAC 110
UBU (%)	3,93 a (0,01)	5,02 b (0,03)
TMV (%)	17,30 a (0,05)	24,47 b (0,38)
TCZ (%)	0,63 b (0,01)	0,42 a (0,01)
TCF (%)	78,15 b (0,03)	70,10 a (0,43)

Fonte: o autor.

Conforme Tabela 1, verifica-se que a umidade média do carvão vegetal foi de 3,93 e 5,02%. O teor de voláteis foi de 17,30 e 24,47%. O teor de cinza verificado neste estudo foi de 0,63 e 0,42%. Já o teor

de carbono fixo verificado neste estudo foi de 78,15 e 70,10%. Para todas as análises verificou-se diferença estatística significativa a 5% de significância.

Os valores médios encontrados para o poder calorífico superior determinado em bomba calorimétrica, bem como valor estimado pela Equação de Goutal estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2- Poder calorífico superior do carvão vegetal proveniente de madeira de *Eucalyptus* sp.

	Forno circular	RAC 110
Bomba calorimétrica	7883	7515
Equação de Goutal	8432,20	8268,52

Fonte: o autor.

De acordo com a tabela 2 os valores de poder calorífico encontrados foram de 7883 e 7515 Kca/Kg nos Fornos Circular e no Forno RAC 110 respectivamente. Enquanto que pela equação de Goutal foi de 8432,20 Kcal/Kg no Forno circular, 8268,52 Kcal/Kg no forno RAC 110. Conforme tabela 2, pode-se verificar que o poder calorífico do carvão vegetal mostrou uma pequena diferença em relação a bomba calorimétrica e da equação de Goutal, porém nota-se que em ambas determinações, o maior valor foi verificado no Forno circular, que verificou-se maior teor de carbono fixo em sua composição (Tabela 1).

Discussão

A umidade contida no carvão vegetal exerce uma grande influência no rendimento dos processos onde é utilizado. Outra consequência da absorção de umidade pelo carvão vegetal está na sua resistência mecânica. Como o carvão vegetal é submetido, no alto-forno, a um aquecimento durante sua descida, atingindo a zona de reserva térmica em torno de 800-850° C, o teor de umidade deve ter uma ação bastante importante na marcha do aparelho de redução (CETEC, 1981). O valor médio da umidade neste trabalho foi inferior àquele encontrado por Brand et al. (2015), que determinaram o valor de 7,35% para amostras de carvão vegetal para uso doméstico na região Serrana Sul de Santa Catarina, classificando-o como alto. Já Oliveira et al. (2015) encontraram o teor de umidade entre 4,02 e 7,77% para carvão vegetal de municípios da região Oeste do Paraná. Verificando-se o teor médio de umidade neste trabalho observou-se que apenas o forno RAC 110 está acima do estabelecido pelo Selo Premium (SÃO PAULO, 2003), que estabelece valores abaixo de 5,0%.

Segundo dados publicados pela Aperam Bioenergia, a umidade média do carvão vegetal produzido no mês de fevereiro de 2018 foi de 6,66% (Aperam Bioenergia 2018), sendo verificado neste estudo um baixo valor de umidade, com valor médio de 3,83%.

A estrutura do carvão vegetal pode ser afetada pelo teor de materiais voláteis, pois o tamanho dos poros, a porosidade, a densidade e outras propriedades físicas do carvão podem mudar durante o processo de eliminação dos materiais voláteis (GUEDES et al., 2010). Apesar do material volátil também possuir carbono, a sua fração no carvão vegetal é inferior ao carbono fixo. Comparando-se com um trabalho de Arruda et al. (2011) encontraram valor médio de materiais voláteis igual a 22,7%, enquanto Oliveira et al. (2020) encontraram valor médio igual a 24,4% ao caracterizarem as propriedades do carvão vegetal de eucalipto produzido em fornos retangulares industriais.

O carbono fixo representa a fração do carvão que queima no estado sólido e promove um aumento da estabilidade e resistência térmica do combustível. Logo, visando à maior durabilidade da combustão nas caldeiras e fornalhas dos combustíveis utilizados como fonte de bioenergia, deve-se priorizar aqueles com maiores quantidades de carbono fixo e menores de materiais voláteis (NOGUEIRA; LORA, 2003; BRAND, 2010).

Conforme Ribeiro e Vale, 2006, para que o carvão vegetal possa ser considerado de boa qualidade para o uso doméstico, deve reunir algumas características como: alta densidade relativa aparente; alto teor de carbono fixo; alto poder calorífico; baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas. O carvão vegetal analisado neste estudo atende às especificações estabelecidas pela norma

PMQ 3 – 03 (São Paulo, 2003) para o uso siderúrgico e doméstico, pois verificou-se teores de carbono fixo superiores a 75% e os teores de cinzas foram inferiores a 1,5%.

Geralmente, o carvão vegetal de clones ou espécies de *Eucalyptus* possuem teor de cinzas inferior a 1% (NEVES et al., 2011; ASSIS et al., 2012), assemelhando-se ao observado nesse trabalho.

Teores mais elevados de carbono fixo são recomendados, pois os biocombustíveis queimam mais lentamente, sendo essa característica de grande importância para a utilização do carvão vegetal para a redução de óxidos de ferro (BRAND, 2010). Sendo também, que os altos teores de cinzas no carvão podem torná-lo inviável para a utilização do mesmo. O carvão com baixo teor de cinzas podem conferir boas características energéticas já com alto teor de cinzas pode impactar negativamente produtos metalúrgicos (SANTOS, 2008).

O poder calorífico é dado pela quantidade de energia que é liberada quando o material é queimado com adição de ar. Visto isso, o calor obtido durante a queima de diferentes espécies florestais ou resíduos madeiros pode variar dependendo de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (VAN LOO; KOPPEJAN, 2008).

Quanto maior o teor de carbono fixo maior será o poder calorífico superior do carvão vegetal, uma vez que a entalpia associada ao carbono é que determina o valor calórico dos combustíveis submetidos à pirólise. O carbono fixo representa a fração do carvão que queima no estado sólido e promove um aumento da estabilidade e resistência térmica do combustível. Logo, visando à maior durabilidade da combustão nas caldeiras e fornalhas dos combustíveis utilizados como fonte de bioenergia, deve-se priorizar aqueles com maiores quantidades de carbono fixo e menores de materiais voláteis (BRAND, 2010). Este comportamento foi verificado neste estudo, pois o carvão vegetal proveniente do forno circular foi o que apresentou maior teor de carbono fixo, que foi de 78,15% (Tabela 1), e resultou em maiores valores de poder calorífico, conforme visto na Tabela 2.

Soares (2015), encontrou valores de poder calorífico entre 6684 e 7501 kcal/kg, o poder calorífico encontrado neste estudo foi superior nas duas análises.

Perante todo esse conhecimento, conclui-se que o poder calorífico é fundamental na indústria por ser importante no processo de produção, pois influencia diretamente na eficiência e no custo dos processos que envolvem a queima de combustíveis. Na geração de energia, seja por meio de termelétricas ou outras fontes, o poder calorífico dos combustíveis determina a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada a partir deles.

Conclusão

O trabalho tendo como objetivo a caracterização do carvão vegetal em dois tipos de fornos diferentes, apresentou nos resultados uma umidade no carvão do forno circular foi de 3,93%, RAC 110 de 5,02%, já o teor de voláteis no forno circular foi de 17,30%, RAC 110 24,47%; enquanto o teor de cinzas encontrado no forno circular foi 0,63%, RAC 110 de 0,42%. Já o teor de carbono fixo verificado neste estudo no forno circular 78,15%; RAC 110 de 70,10%. Tendo estes resultados, em relação a quantidade de carbono fixo o carvão de melhor e maior teor de carbono fixo foi o do forno circular e razoavelmente o RAC 110. As amostras apresentou um poder calorífico no forno circular de 7875 e 7891 cal/g, RAC 110 de 7531 e 7498 cal/g, pelo método da bomba calorimétrica, fazendo a equação de Goutal encontrou-se no forno circular 8432,20 cal/g, RAC 110 de 8268,52 cal/g. Neste estudo no forno circular 78,15%; RAC 110 de 70,10%. Quanto a produção do carvão vegetal o forno circular demonstrou maior rendimento em carbono fixo, principalmente devido um alto teor de carbono fixo e também a um menor de teor cinzas, sendo consideradas características importantes na utilização do carvão em siderurgia. Onde também destacou-se um alto poder calorífico, o que pode ser explicado.

Referências

Aperam BioEnergia: Qualidade em ação. 6ª edição [CITED 2018] Available from: http://aperambioenergia.com.br/wp-content/uploads/2018/02/qualidadeemacao_6_fev2018_v1.pdf
Acesso em: 25 de julho de 2024.

ARANTES MDC. **Variação das características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla*** S. T. Blake [tese]. Lavras: Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras; 2009.

ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; ACOSTA, F. C. **Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares**. 2011. Revista Árvore, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 949-955, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000500020>.

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. **Qualidade e rendimentos do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012.

BRAND M. A., RODRIGUES. A. A., OLIVEIRA, A.; MACHADO. M. S., ZEN, L. R. **Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na Região Serrana Sul de Santa Catarina**. Revista Árvore, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1165-1173, 2015.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO R. A. P.; VITAL, B. R. **Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos**. Revista Árvore, 38(2): 375-381. 2014.

CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Gaseificação de madeira e carvão vegetal**. Belo Horizonte, v. 1, 1981.

DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. L. M.; VITAL, B. R.; MILAGRES, E. G.; CANA, W. D. **Influência do diâmetro da madeira de eucalipto na produtividade e propriedades do carvão vegetal**. Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science). 11(2): 63-73, 2020.

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 5.3**. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: Sociedade Internacional de Biometria, 2000. p.255-258.

GUEDES, C. I. b.; ADÃO, D. C.; QUESSADA, T. P.; BORSATO, D.; GALÃO, O. F.; DI MAURO, E.; PÉREZ, J. M. M.; ROCHA, J. D. **Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina**. Química Nova, v. 33, p. 781-786, 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ 2020. Brasília, DF, 2020. **Relatório anual 2020**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>.

LANA, A. Q.; SALLES, T. T.; CARNEIRO, A. O. C.; CARDOSO, M. T.; TEIXEIRA, R. U. **Comparison of procedures for immediate chemical analysis of charcoal**. Revista Árvore, 40 (2). 2016.

LANA, A. Q. **Forno de alvenaria para incremento da produtividade por meio do resfriamento externo do carvão vegetal**. 2018. 87 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2018.

MENDES MG, Gomes PA & Oliveira JB (1982) **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. In: Penedo WR (Ed.) Carvão Vegetal. Belo Horizonte, CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais. p.75-90.

MORAIS, S. A. L., Nascimento, E. A., Melo, D. C. **Análise da Madeira de Pinus Carpa Parte 1 – Estudo dos Constituintes Macromoleculares e Extrativos Voláteis**. SIF, Sociedade de Investigações Florestais, Revista Árvore, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; OLIVEIRA SELVA, V. - **Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando a produção de carvão.** *Pesq. flor. bras.*, v.31, n.68, p. 319-330. 2011

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

OLIVEIRA, R. L. M. **Instrumentation and Thermal Analysis of the Process of the Charcoal Production.** 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

OLIVEIRA, A. F.; BAVARESCO, A.; PESSUTI, C. A. A.; MIYASHIRO, C. S.; FRANK, J. **Análise da Qualidade do Carvão para Consumo Doméstico de Quatro Municípios do Estado do Paraná.** *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 4, n. 3, 2015.

OLIVEIRA, A. C.; RAMOS, D. C.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O. **Carbonization temperature and charcoal properties at different positions in rectangular kiln.** *Revista Brasileira de ciências Agrárias*, Recife, v.15, n.4, e8493, 2020. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i4a8493>

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: **Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência;** Florianópolis. Belém: Universidade Federal do Paraná; 2006.

SANTOS, A. L. S. **Integração de comunidades rurais com recursos vegetais: o caso dos remanescentes de floresta estacional do município de Junqueiro (AL-Brasil).** 134 f. Tese (Doutorado) – Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Resolução SAA – 10, de 11-72003. **Norma de padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal, como base para certificação de produtos pelo Sistema de Qualidade de Produtos Agrícolas, Pecuários e Agroindustriais do Estado de São Paulo,** instituído pela Lei 10.481-9. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, v. 113, n. 129, jul. 2003.

SOARES, VÁSSIA CARVALHO et al. **Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades.** *Cerne*, v. 21, p. 191-197, 2015.

VAN LOO, Sjaak; KOPPEJAN, Jaap. **The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing.** 1.Ed. London • Sterling, VA: Earthscan, 2008. 465 p. v. 1.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. **Efeito da constituição química e da densidade básica da madeira de clones de Eucalyptus grandis na produção de carvão vegetal.** *Revista Árvore* 10(2): 151-160. 1986.