



RELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA E COMBUSTIBILIDADE DO CARVÃO VEGETAL COMERCIALIZADO PARA COCÇÃO DE ALIMENTOS

**Ananias Francisco DIAS JÚNIOR¹, Carlos Rogério ANDRADE², José Otávio BRITO³,
Artur Queiroz LANA¹**

1 – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP; 2 – Universidade Federal de Goiás - UFG; 3 - Departamento de Ciências Florestais – ESALQ/USP

Resumo: O objetivo do presente estudo foi analisar as características do carvão vegetal utilizado para fins de cocção de alimentos, principalmente, quanto a influência granulométrica no processo de combustão. Analisou-se o material em quatro diferentes granulometrias (8, 16, 32 e 50 mm) através de um ensaio de combustão, denominado de ICOM, em que foram considerados o tempo de processo, a temperatura gerada e a massa consumida. Para a caracterização do carvão vegetal, determinou-se a umidade, densidade aparente, densidade a granel, teor de materiais voláteis, teor de cinzas, teor carbono fixo e poder calorífico. O carvão vegetal analisado apresentou indicativos regulares para uso na cocção de alimentos. Houve relação entre as granulometrias analisadas e o ICOM. O carvão com granulometria de 16 mm apresentou os melhores resultados frente a combustão. Em contrapartida, a maior granulometria analisada apresentou resultado inferior comparado as demais granulometrias.

Palavras-chave: energia de biomassa; qualidade do carvão vegetal para cocção; índice de combustão.

RELATION BETWEEN THE SAMPLE SIZE AND CHARCOAL GRILL COMBUSTIBILITY MARKETED

Abstract: The objective of this study was to analyze the characteristics of charcoal used for food cooking, especially as the granulometry influence on the combustion process. The material was examined in four different granulometries (8, 16, 32 and 50 mm) through a combustion test, called the ICOM, which was considered in the process time, temperature and mass consumption generated. For the characterization of charcoal was determined in the moisture, density, bulk density, content of volatiles, ash, fixed carbon content and calorific value. Charcoal analyzed had regular indicative for use in food cooking. There was a relationship between granulometries and analyzed the ICOM. The charcoal granulometry of 16 mm showed the best results compared to combustion. In contrast, the largest particles analyzed showed inferior results compared to the other granulometries.

Key words: biomass energy; quality charcoal grill; index combustion.

1. INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é um combustível utilizado desde a antiguidade para diversos fins. Atualmente, é utilizado tanto pelo setor industrial, como nas indústrias siderúrgicas, de cimento e de vidro, como no uso doméstico para a cocção de alimentos (churrasco). Warnes (2008) cita que a cocção foi a primeira prática de preparação de alimentos realizada pela humanidade.

Embora o Brasil seja o maior produtor mundial de carvão vegetal, a maior parte do insumo é destinada ao uso industrial, porém, o país possui ainda uma forte tradição de uso do material para cocção de alimentos. Arantes (2009) e Cintra (2009) relatam que o setor residencial é responsável pelo consumo de 8% de todo o carvão produzido no país, seguido pelo setor comercial 1,1%, este último, representado por pizzarias, padarias e churrasarias. Entretanto, cabe destacar que alguns países subdesenvolvidos, como o Haiti, têm no carvão vegetal um importante insumo energético utilizado no preparo de alimentos.

As pesquisas realizadas no Brasil em relação à qualidade do carvão vegetal têm sido voltadas principalmente para as demandas do setor siderúrgico, devido ao mais forte caráter econômico envolvido nesta cadeia produtiva e, conseqüentemente, sendo escassos os estudos voltados para análises do carvão vegetal para fins de cocção.

Segundo Brito (2002), Ribeiro; Vale (2006) e Rosa et al. (2012) o carvão vegetal para ser considerado de boa qualidade para o uso doméstico, deve reunir 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.

Nos Estados Unidos, por exemplo, é de longa data a existência de trabalhos acerca da qualidade do carvão vegetal para churrasco e aspectos relacionados (WARNES, 2008). Um exemplo de norma na Europa é o da *Association Française de Normalisation-AFNOR* (2005): *Appareils, combustibles solides et allume-barbecue pour la cuisson au barbecue*, que descreve aspectos de qualidade para carvão vegetal e briquetes utilizados para cocção. No Brasil, a única proposta oficial que trata, especificamente, do controle de qualidade de carvão vegetal para cocção de alimentos, é a da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Trata-se do “Selo São Paulo - Carvão Premium”, promulgado pela Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003. Ela visa determinar um padrão de qualidade para o carvão vegetal para uso doméstico, incluindo indicadores para teor de umidade, teor de carbono fixo, teor de materiais voláteis, teor de cinzas, tamanho das peças, mão de obra utilizada dentre outros (SÃO PAULO, 2003). De adesão voluntária, o selo seria a garantia de que, na produção do carvão vegetal, estariam sendo atendidos os requisitos ligados à qualidade do produto para cocção.

A proposição de padrões de qualidade do carvão vegetal para cocção pode ser questionada, pois é fato que o controle da carbonização é difícil na maioria dos fornos, produzindo um material heterogêneo, diferindo principalmente, em densidade, umidade, composição química, friabilidade, resistência mecânica, reatividade e higroscopicidade. Além disso, os resultados da análise de combustíveis sólidos devem ser interpretados com cuidado, porque são influenciados pelo tamanho e forma do material, e ainda, pelas propriedades da matéria prima a partir dos quais são produzidos (QUIRINO; BRITO, 1991).

Apesar das dificuldades apontadas quanto a definição mais precisa da qualidade do carvão vegetal para cocção, a busca de informações que colaborem com referências acerca da questão, é de fundamental importância, considerando-se uma maior valoração do produto junto ao usuário final. Nesse sentido, acredita-se que a granulometria tenha uma forte influência no processo de combustão do carvão vegetal durante a cocção, sobretudo, por ser

comum em uma embalagem do produto ocorrerem peças de diferentes granulometrias, incluindo o pó.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo o estudo de caracterização de carvão vegetal utilizado para fins de cocção de alimentos, principalmente, quanto ao seu comportamento frente a combustão e a influência da sua granulometria.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do carvão vegetal

O carvão vegetal foi coletado em uma carvoaria situada no município de Atibaia, Estado de São Paulo. A empresa produz carvão vegetal para “churrasco” a partir de madeira de *Eucalyptus* spp, com idades situadas entre sete e dez anos. Os fornos usados no carvoejamento foram de alvenaria, conhecidos por “rabo quente”, com o processo, em sua fase principal, atingindo temperatura final de, aproximadamente, 450 °C. Foram coletados vinte sacos de 2,5 kg de carvão vegetal, provenientes daqueles que seriam distribuídos no comércio varejista.

A justificativa para trabalhar com o carvão vegetal adquiridos nas embalagens para o comércio varejista foi a de garantir a aleatoriedade da amostragem, e aproximar ao máximo do que é disponibilizado ao consumidor final.

No sentido de caracterização inicial do produto, foram realizadas algumas análises, seguindo as seguintes normas:

- Teor de umidade (%) - ABNT NBR 8112;
- Densidade aparente (g.cm^{-3}) - ABNT NBR 11941;
- Densidade a granel (kg.m^{-3}) - ABNT NBR 6922;
- Análise química imediata (teor de voláteis, teor de cinza e teor de carbono fixo) – ABNT NBR 8112;
- Poder calorífico superior - ABNT NBR 8633.

2.2 Índice de combustão (ICOM)

O ICOM foi determinado utilizando a metodologia elaborada por Quirino; Brito (1991), proposta para briquetes de moinha de carvão vegetal. Todavia, foi necessário adaptar a norma para o carvão vegetal, tendo sido definido como tempo final do ensaio aquele observado como necessário para completa combustão do material. Tal adaptação foi feita devido ao fato do carvão vegetal apresentar menor densidade do que os briquetes. Para o restante dos procedimentos, manteve-se os mesmos detalhes propostos na metodologia original, fazendo parte do conjunto, um termômetro digital para a mensuração das temperaturas alcançadas durante a combustão e balança com capacidade de 2,5 kg e precisão de 0,5 g.

O volume do combustor ($1,25\text{dm}^3$) foi preenchido com massa de carvão correspondente a $150 \pm 10\text{g}$. A temperatura e a massa consumida foram anotadas a cada cinco minutos, do tempo inicial igual a zero até o tempo final. O índice de combustão foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$ICOM = \frac{AxB}{100} x C \quad (\text{Equação 1})$$



Onde: A = porcentagem do tempo de teste no qual a temperatura permaneceu acima de 150 °C, tomada em relação ao tempo total (min) de combustão; B = porcentagem da temperatura máxima atingida no teste, em relação à temperatura de 150 °C; C = porcentagem da massa total consumida gerando temperaturas acima de 150 °C. Obs.: Conforme a proposta original da metodologia, a temperatura de 150 °C é considerada como a mínima necessária para início do processo de cocção em um churrasco, compreendendo a fase e eliminação de água do alimento.

Com intuito de simular situações práticas cotidianas, que podem ser encontradas durante a cocção de alimentos (diversas granulometrias de carvão vegetal em uma única embalagem), o carvão vegetal foi passado em cinco diferentes peneiras com malhas granulométricas de 8, 16, 32 e 50 mm, em função da capacidade de adequação ao volume do combustor.

Os dados obtidos no ensaio de combustão foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância, para verificar a normalidade dos dados. Para verificar a proximidade das variâncias foi aplicado ao nível da mesma significância o teste de Levene, pois uma das hipóteses da análise de variância é que as variâncias sejam iguais para a categoria analisada. Verificadas essas suposições, os ensaios foram conduzidos seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento (granulometria). Realizou-se a análise de variância com auxílio do software Minitab 16 e para teste de comparação múltipla foi utilizado o teste Scott-Knott a 5% de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características do carvão vegetal

A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos para os ensaios realizados visando a caracterização do carvão vegetal.

Tabela 1. Características do carvão vegetal analisado

Parâmetros	Média	Coefficiente de variação (%)
Umidade (%)	3,93	16,90
Densidade aparente (g cm ⁻¹)	0,32	5,26
Densidade a granel (kg m ⁻³)	219	1,11
Teor de materiais voláteis (%)	16,9	10,91
Teor de cinzas (%)	1,20	42,55
Teor de carbono fixo (%)	81,9	2,89
Poder calorífico superior (kcal kg ⁻¹)	7805	6,44

Os resultados encontrados nas análises do carvão vegetal permitem caracterizá-lo como um produto que apresenta características clássicas e regulares daqueles que têm sido disponibilizado para cocção de alimentos no mercado consumidor. Chama a atenção o elevado coeficiente de variação encontrado para o teor de cinzas. Há que se afirmar, no entanto, que Trugilho et al. (2005) relatam ser esta uma condição usual para o produto, que

pode estar relacionada a diversos fatores. Os valores encontrados para as demais características analisadas estão compatíveis com os valores obtidos Brito et al. (1982), Quirino; Brito (1991), São Paulo (2003), Andrade; Machado (2004), Trugilho et al. (2005), Oliveira et al. (2010), Rosa et al. (2012), Carneiro et al. (2014) e Dias Júnior et al. (2015).

3.2 Índice de combustão

Ao se analisar o comportamento do carvão vegetal frente a combustão, pode ser observado, na Figura 1, que a temperatura máxima alcançada variou de acordo com a granulometria, o mesmo correndo em relação ao tempo para se alcançar esta temperatura. Os valores médios contidos na Tabela 2 comprovam, estatisticamente, as diferenças.

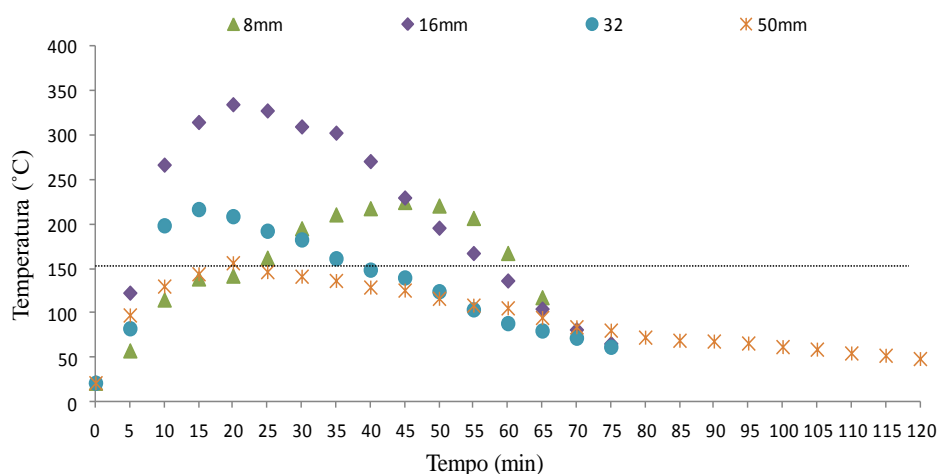


Figura 1. Variação da temperatura em função do tempo durante o teste de combustão.

Analisando a Figura 1 e a Tabela 2 observa-se que o carvão vegetal com granulometria de 16 mm apresentou a maior temperatura máxima e o de granulometria de 50 mm mostrou o menor valor para este parâmetro.

Tabela 2. Temperaturas máximas (T. Max) e temperaturas finais (T.F.) alcançadas no teste de combustão do carvão vegetal

Granulometria (mm)	T. Max. (°C)	T. F. (°C)
8	239 b (12,45)	25 b (8,32)
16	319 a (10,94)	27 b (6,30)
32	232 b (4,56)	26 b (2,25)
50	229 b (21,57)	47 a (4,37)

Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores entre parentêses correspondem aos coeficientes de variação.

No campo estatístico, os carvões de granulometrias 8, 32 e 50 mm formaram um único grupo, divergindo dos demais. O maior valor de temperatura final para a granulometria de 50 mm pode estar relacionado ao fato de que sob tal dimensão, ocorre menor contato entre peças,

fazendo com que a transferência de energia entre elas não seja tão eficiente, de modo a constituir um “bloco contínuo” de massa em combustão. Em termos práticos, as peças “se queimam”, praticamente, de forma individual, desconectadas no fornecimento de calor.

A Figura 2 revela que, o índice de combustão apresentou comportamento decrescente em função das granulometrias analisadas com elevado valor de R^2 entre as variáveis.

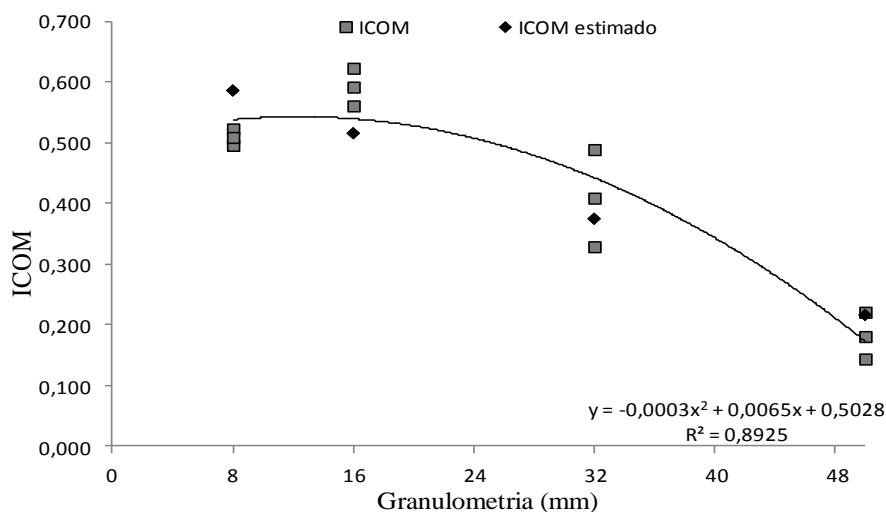


Figura 2. Relação entre as granulometrias estudadas e o índice de combustão.

Segundo Quirino; Brito (1991) para cocção é interessante a manutenção de uma determinada temperatura constante, não sendo oportuna ocorrência de variações abruptas, o que pode fomentar a necessidade de interferências frequentes no processo (por exemplo, realimentações) para a manutenção do nível da combustão.

É possível observar ainda que os carvões de granulometria de 8 e 16 mm apresentaram maiores valores de ICOM (>0,500) enquanto que, a medida que decresceu para granulometria de 32 e 50 mm obteve ICOM próximos a 0,400 e 0,200, respectivamente.

É interessante analisar os valores do ICOM sob a ótica do comportamento da combustão ilustrada na Figura 1, que apresenta as referências da temperatura em função do tempo. Nota-se que a manutenção da temperatura em valores ≥ 150 °C é de alta relevância, em se considerando o cálculo da Equação 2. De fato, o carvão vegetal com granulometria de 16 mm apresentou, visivelmente, a maior área sob sua curva (Figura 1) e, conseqüentemente, o maior ICOM.

A Figura 3 apresenta os valores médios para o ICOM de carvão vegetal em relação às granulometrias avaliadas.

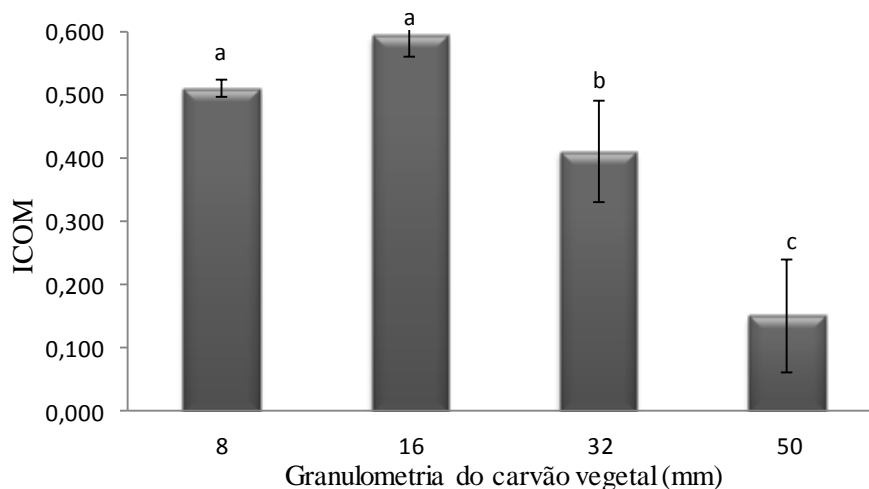


Figura 3. Índice de combustão das granulometrias analisadas. Valores médios seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância.

Os valores de ICOM (Figura 3) para as granulometrias de 8, 16 e 32 mm se encontram de acordo com os valores obtidos por Quirino; Brito (1991). Os autores encontraram valores de 0,31 a 1,23. Nota-se que o maior valor de ICOM foi para o carvão vegetal de granulometria 16 mm. Considera-se que, quanto maior o ICOM, maior será a geração de calor, com o menor consumo de massa do combustível, em relação à um determinado tempo.

Quando a combustão refere-se ao carvão com maior granulometria, como foi o caso do carvão com 50 mm, o valor do ICOM foi significativamente inferior aos demais. Infere-se que, devido ao tamanho de suas peças, o contato entre as mesmas foi menor, o que, provavelmente, teria diminuído a transferência de energia no conjunto da massa sob combustão. Apesar da sensível menor velocidade de perda de massa (Figura 2), por outro lado, a temperatura se situou, na maior parte do processo, abaixo daquela definida como sendo a mínima exigida para uso em cocção de alimentos.

Os resultados do trabalho nos fornecem a orientação de que, de fato, existiriam argumentos para se considerar a granulometria do carvão vegetal como característica importante, na proposição da qualificação do produto para uso em cocção de alimentos. Da mesma forma, mediante o controle da granulometria, poderia ser proposta a definição da escolha do carvão, em função do tipo de comportamento que se deseja obter durante a cocção, comandada pelo tipo de demandas de calor a ser exigida pelos alimentos a ser preparado. Tal aspecto abre a perspectiva de novos estudos na área, conjugando a qualidade do carvão vegetal e o tipo de cocção que dele venha ser exigido.

CONCLUSÕES

- O carvão vegetal analisado apresentou características regulares para utilização na cocção de alimentos.
- No teste de combustão, o carvão vegetal de granulometria de 16 mm foi o que apresentou a maior temperatura máxima e o maior valor de ICOM.
- O carvão vegetal de 50 mm apresentou o pior comportamento no teste de combustão.
- Recomenda-se que, para testes de combustão de carvão vegetal para cocção, que se estabeleça um padrão granulométrico para melhor avaliação do material.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.M.; MACHADO, F.S. Comparação entre as propriedades físicas e mecânicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para injeção nas ventaneiras de altos-fornos siderúrgicos. *BIOMASSA & ENERGIA*, v. 1, n. 3, p. 273-279, 2004.

ARANTES, M. D. C. 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 (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, 2009. 149 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6922/81: carvão vegetal - Ensaio físico determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941. Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: carvão vegetal - determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). NF EM 1860-2-Appareils, combustibles solides et allume-barbecue pour la cuisson au barbecue. Saint Denis, Paris, 2005. 29p.

BRITO, J. O. A escolha certa do carvão. *REVISTA CHURRASCO E CHURRASCARIAS*, v. 5, n. 24, p. 16, 2002.

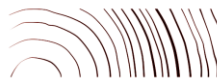
BRITO, J.O. et al. Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente. IPEF, Circular Técnica 150, Piracicaba, 1982. 6p.

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.

CINTRA, T. C. Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. Piracicaba, 2009. 84 p.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; BRITO, J.O.; MILAN, M. Desdobramento da Função Qualidade na avaliação da qualidade do carvão vegetal comercializado para cocção de alimentos. *FLORESTA & AMBIENTE*, Seropédica, RJ, v.22, n.2, p. 262-270, 2015.

OLIVEIRA, A.C. et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *SCIENTIA FORESTALIS*, Piracicaba, SP, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.



OLIVEIRA, J.B; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade de carvão vegetal. Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade. Belo Horizonte: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. 1982. p. 9-38.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Laboratório de Produtos Florestais -LPF - Série Técnica Nº 13, Brasília, 1991, 14p.

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

ROSA, R. A. et al. Qualidade do carvão vegetal para uso doméstico. JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY AND BIODIVERSITY, Gurupi-TO, v. 3, n. 2, p. 41-48, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003. São Paulo.

TRUGILHO, P.F. et al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. CERNE, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

WARNES, A. Savage barbecue: race, culture and the invention of america's first food. British Library, Geórgia, United States, 2008. 201p.