

Análise da qualidade do carvão vegetal proveniente da região sul do Brasil

Characterization of the charcoal sample quality from the south of Brazil

Heitor Renan Ferreira^[b], Gilmara de Oliveira Machado^[c], Marcio Rogério da Silva^[d], Francieli Vogel^[a], Everton Hillig^[e]

^[a] Engenheira florestal, mestre em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Irati, PR - Brasil, email: vogel.francieli@yahoo.com.br

^[b] Acadêmico do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: heitorrenanbr@hotmail.com

^[c] Licenciatura em Ciências Exatas, doutora, professora adjunta da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Irati, PR - Brasil, e-mail: gilmar Machado@yahoo.com.br

^[d] Licenciatura em Química, doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP - Brasil, e-mail: marciomr@sc.usp.br

^[e] Engenheiro florestal, doutor, professor adjunto da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Irati, PR - Brasil, e-mail: evertonhillig@hotmail.com.br

Resumo

Este estudo teve por principal objetivo comparar amostras de carvão vegetal disponibilizadas no comércio da região de Irati (PR) e Esteio (RS), visando avaliar a qualidade desses produtos. As análises foram realizadas por meio da determinação dos teores de finos, de umidade, de cinzas e do Poder Calorífico. O teor de finos foi determinado como sendo a fração de partículas de carvão que passou por uma peneira de 10 mm, o teor de cinzas mediante pirólise do produto em mufla aquecida a 750 °C e o Poder Calorífico usando uma bomba calorimétrica modelo IKA C2000. As amostras avaliadas foram de carvão de *Eucalyptus* sp, de *Acacia mearnsii* De Wild, de *Mimosa scabrella* Bentham e de madeira não identificada. Como resultado parcial, obtiveram-se variações significativas para as diferentes amostras, com teor de finos na faixa de 0,54% a 7,85%, umidade de 7,92% a 9,59%, cinzas de 4,04% a 24,05% e Poder Calorífico na faixa de 7079 a 7561 kcal/kg. Conclui-se que a análise das propriedades de carvão vegetal é uma informação importante para um melhor conhecimento do produto que está sendo comercializado, em que a amostra de *Acacia mearnsii* De Wild apresentou o melhor resultado em relação às características analisadas.

Palavras-chave: Carvão vegetal. Teor de finos. Teor de cinzas. Poder Calorífico.



Abstract

The main objective of this study is to compare the quality of different samples of charcoal commercially available in the regions of Irati (PR) and Esteio (RS). The characterization entailed measurement of the percentage of fine particulates, moist content, percentage of ash and calorific value. The percentage of fine particulates was defined as the fraction of the particles that passed through a 10 mm sieve. The percentage of ashes was determined by heating in a 750 °C tube furnace. The calorific value was determined using a calorimeter, model IKA C2000. The carbonized woods used to obtain the charcoal were: 1) Eucalyptus sp.; 2) Acacia mearnsii De Wild; 3) Mimosa scabrella Bentham; 4) Un-identified wood. The preliminary results indicated significant variations between the wood samples. The percentage of fine particulates ranged from 0.3% to 7.85%. The percentage of ash varied from 3.4% to 25.3%. The calorific value measurements range from 5446 to 7060 kcal/kg. Nonetheless, results indicates that characterization of charcoal is necessary to standardize the quality of commercial charcoal, where the sample 2 presented the best result among the analyzed parameters.

Keywords: Carbonization of wood. Percentage of ashes. Calorific value.

Introdução

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal. O uso mais simples desse produto é como combustível, sendo o setor industrial responsável por quase 85% do consumo. As siderúrgicas produtoras de ferro-gusa, aço e ferro-liga são os principais consumidores do carvão, o qual, além de energético, também atua como redutor do minério de ferro (SEIXAS; COUTO; RUMMER, 2006).

O carvão vegetal vem sendo tratado como um combustível de segunda categoria com baixo custo e a madeira a ser carbonizada, geralmente, é obtida, em parte, por meio de desmatamento de florestas nativas produzindo, assim, carvão ilegal e de forma clandestina. Desta forma, o consumidor final geralmente não tem informações que possam indicar minimamente a qualidade e a procedência do produto obtido.

Segundo Sampaio (2004), o uso de carvão vegetal favorece o Brasil, onde a biomassa cresce com extrema rapidez, o que tem viabilizado a manutenção das empresas siderúrgicas até os dias de hoje. Isso torna também o carvão vegetal mais viável, do ponto de vista econômico, que a utilização de carvão mineral.

A produção de carvão vegetal no Brasil provém, em grande parte, da exploração de florestas nativas, apesar de estar havendo um aumento de carvão a partir de madeira originária de florestas plantadas. Em 1980, 85,9% da produção de carvão vegetal eram originários de florestas nativas e, em 2006, este valor caiu para 49,0% (AMS, 2006). Embora tenha ocorrido

tal queda, ainda é preocupante a pressão sobre os remanescentes florestais na produção. Além desses aspectos, podemos citar os impactos ambientais como a liberação direta para a atmosfera de líquidos e voláteis provenientes da carbonização da madeira, que causam intensa poluição, além do fato de a atividade carvoeira ser frequentemente associada a condições desumanas de trabalho.

Importante ressaltar que há exigências dos órgãos ambientais estaduais quanto ao licenciamento ambiental das carvoarias, o qual somente é concedido mediante a apresentação de toda a documentação ambiental e trabalhista da unidade de produção do carvão vegetal. Não obstante, muitas ainda trabalham na ilegalidade.

A carbonização é um processo de decomposição térmica da madeira na ausência ou presença controlada de oxigênio, por ação de calor em altas temperaturas, na faixa de 300 a 500 °C, em que são volatilizados os líquidos, restando apenas um sólido composto quase que exclusivamente de carbono puro. Esse sólido é chamado de carvão vegetal.

No Brasil, tradicionalmente, a produção de carvão vegetal ocorre pela carbonização da madeira em fornos de alvenaria, em processos dispersos, pouco mecanizados e, em sua grande maioria, altamente dependentes de trabalho humano. É preciso que sejam fiscalizadas as empresas carvoeiras em atividade. Dessa forma, será possível ter maior controle do produto, certificando-se de que o carvão não foi fruto de um processo ilegal.

À medida que os problemas ambientais se evidenciaram, a ideia de qualidade ganhou consistência. Um grande problema na utilização do carvão vegetal é a sua alta diferença em qualidade, necessitando de um controle mais rigoroso das suas propriedades, o qual ocasiona um grande desperdício do material, dificultando e reduzindo o rendimento energético em sua queima (TRUGILHO et al., 2001).

Informações sobre a qualidade do carvão comercializado não vêm sendo transmitidas para o consumidor final. Dessa forma, há necessidade de que sejam estipulados padrões, por meio do estabelecimento de classes de qualidade, uma vez que o rendimento energético do carvão depende de inúmeras variáveis, sendo as principais: densidade da matéria-prima utilizada, o teor de cinzas, o teor de umidade, o teor de finos e o Poder Calorífico (ABNT, 1986).

A utilização de uma determinada madeira a ser carbonizada para fins energéticos deve se basear no conhecimento do seu Poder Calorífico e no seu potencial para produção de biomassa. O valor prático de um combustível pode ser indicado pela quantidade de energia fornecida por unidade de massa na sua combustão, valor este denominado Poder Calorífico. Algumas características do carvão influenciam o valor do seu Poder Calorífico. Quanto menor o teor de umidade do produto, maior será a produção de calor líquido por unidade de massa em sua combustão. Parte da energia é absorvida para vaporizar a umidade própria do carvão, diminuindo assim a quantidade de calor útil liberado em sua queima.

Outro fator importante está relacionado às propriedades físico-químicas da madeira em que é produzido o carvão vegetal. Quanto maior a densidade da madeira e seu teor de lignina, maior será o rendimento em carvão vegetal, bem como maior será a quantidade de energia liberada em sua combustão, e tais características estão diretamente relacionadas à matéria-prima utilizada. Segundo Trugilho et al. (2005), as diferenças nas propriedades químicas de diversas espécies lenhosas exercem uma grande variabilidade na qualidade do carvão vegetal. Vale et al. (2000) mostram que o Poder Calorífico superior da madeira é função da sua composição química elementar, em uma relação direta com o teor de carbono e de hidrogênio e inversa com o teor de oxigênio.

O teor de cinzas fornece informações da quantidade de substâncias inorgânicas presentes no material lenhoso carbonizado. Os compostos inorgânicos, quando presentes em grande quantidade, favorecem a produção de um alto teor de cinzas na combustão e contribuem também para um menor rendimento energético na queima, uma vez que o processo de fusão absorve parte da energia liberada. Após a queima, as cinzas comportam-se como a porção residual do carvão e exigem um sistema próprio para sua retirada e, por serem um material abrasivo, podem causar problemas de corrosão em equipamentos metálicos. Os minerais presentes no carvão, quando queimados em fornalhas e caldeiras, podem formar incrustações nos equipamentos e tubulações (BARROSO, 2007).

Graças a sua alta friabilidade, o carvão vegetal sofre uma considerável degradação durante a sua produção e utilização, gerando uma grande quantidade de finos. Segundo Machado e Andrade (2004), no manuseio do carvão, desde a produção até a sua entrada no alto forno, são gerados em torno de 25%, em peso, de finos abaixo de 10 mm de diâmetro. Diante da grande massa de carvão vegetal manuseada por uma indústria siderúrgica, essa elevada geração de finos ocasiona grande perda de material energético, pois estes, apesar de estarem abaixo da granulometria especificada para utilização no alto-forno, são ricos em carbono.

O presente estudo determinou o Poder Calorífico, o teor de finos, de umidade e o teor de inorgânicos de quatro amostras de carvão vegetal vendidas no comércio da região de Irati (PR) e Esteio (RS), avaliando a qualidade desses produtos. O objetivo é demonstrar a alta variabilidade existente entre as diferentes marcas, indicando a necessidade de melhor fiscalização governamental do processo produtivo. Sugere-se o fornecimento de dados mínimos nas embalagens, tais como Poder Calorífico, teor de cinzas e finos, bem como a porcentagem de umidade para que o consumidor possa ter o conhecimento da qualidade do produto adquirido. Adicionalmente, no que se refere à produção do carvão, é necessário conter informações a respeito do cumprimento das políticas ambientais e de segurança do trabalho.

Materiais e métodos

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Propriedades Químicas e Físicas da Madeira, na Universidade Estadual do Centro-Oeste (PR). As medidas de Poder Calorífico foram realizadas no Laboratório de Energia do Departamento de Engenharia Florestal da ESALQ (USP). Foram utilizadas quatro amostras de carvão vegetal. As provenientes do comércio varejista da região de Irati (PR) foram: carvão vegetal de *Eucalyptus* sp; de *Mimosa scabrella* Bentham e de espécies não identificadas. A amostra proveniente do comércio varejista da região de Esteio (RS) é de carvão vegetal de *Acacia mearnsii* De Wild.

As amostras de carvão vegetal foram avaliadas quanto ao seu teor de finos, de umidade, de cinzas e do Poder Calorífico, para assim demonstrar a possível variabilidade das mesmas e verificar a qualidade dos produtos.

Determinação do teor de finos

Considerou-se como finos a fração do carvão que passou através de peneira de 10 mm de abertura. Para tanto, foram peneirados os pacotes de carvão de cada amostra e então determinadas suas porcentagens de finos pela seguinte relação, base seca: Teor de finos (%) = 100 (massa de finos/massa de carvão).

Determinação do teor de umidade pelo método da secagem em estufa

A determinação do teor de umidade consistiu em colocar cerca de um grama do material na estufa regulada para 105 °C até massa constante. Sabendo-se que P é a massa inicial da amostra, ou seja, a massa do carvão seco ao ar e P_{as} a massa da amostra de carvão seca em estufa, teremos para um teor de umidade (U) a seguinte equação:

$$U = \left[\frac{(P - P_{as})}{P} \right] \cdot 100$$

A análise foi realizada em triplicata e utilizou-se o valor médio com seu respectivo desvio padrão.

Determinação do teor de cinzas

Para a análise do teor de cinzas, pequenos fragmentos de carvão vegetal foram selecionados até atingir aproximadamente 100 g por espécie. Em seguida, esse material foi moído e peneirado sendo utilizada a fração que passou pela peneira de 42 mesh e ficou retida na de 60 mesh.

O teor de cinzas foi determinado pela quantificação do resíduo após pirólise do carvão a 750 °C em forno mufla. Para isso, utilizou-se cadinho de porcelana previamente tarado em temperatura de 600 °C por 2h. Colocou-se cerca de 1,0 g de amostra por cadinho. Os cadinhos foram novamente levados à mufla, na temperatura de 750 °C por um período de 6h. O teor de cinzas foi determinado pela seguinte expressão:

$$\% \text{Cinzas} = \left(\frac{m_1}{m_2} \right) \cdot 100$$

em que:

% Cinzas = teor de cinzas em percentual;

m₁ = massa (g) de cinzas (resíduo);

m₂ = massa (g) de amostra seca antes da pirólise.

A análise foi realizada em triplicata e utilizou-se o valor médio com seu respectivo desvio padrão.

Determinação do Poder Calorífico

O Poder Calorífico foi medido utilizando-se uma bomba calorimétrica modelo IKA C2000. A sua determinação foi orientada pela norma DIN51900 (2005).

Análise Estatística

Nos ensaios feitos em triplicata, por meio do software SPSS, foi realizada a análise de variância (ANOVA) dos dados com delineamento inteiramente casualizado (DIC) e teste de Tukey com 5% de significância para as comparações de médias. Os dados são expressos da seguinte forma: média ± desvio padrão.

Resultados e discussão

Os resultados da porcentagem do teor de finos das quatro amostras são apresentados na Tabela 1. Desde a sua produção até o seu uso final, o carvão vegetal vai gerando finos. Um carvão que apresente mais de 30% de finos é considerado muito friável, entre 25 e 29% bastante friável, entre 15 e 24% friabilidade média, entre 10 e 15% pouco friável e menor que 10% muito pouco friável (ABNT, 1986). Pela Tabela 1, observa-se que todas as amostras chegaram ao consumidor final com um baixo teor de finos, pois todas tiveram friabilidade inferior a 10%.

As três primeiras amostras foram as que apresentaram maior porcentagem no teor de finos, ou seja, trata-se de carvão vegetal mais quebradiço. A amostra 4 é menos friável quando comparada com as demais, possibilitando assim maior aproveitamento do carvão vegetal.

A umidade contida no carvão vegetal exerce uma grande influência no rendimento dos processos em que ele é utilizado. O carvão absorve umidade da atmosfera principalmente durante os

períodos chuvosos, perdendo umidade parcialmente com a sua exposição ao sol, dependendo tal comportamento da umidade relativa e temperatura do ambiente a que está exposto. Os resultados do teor médio de umidade são apresentados na Tabela 2.

Observa-se que as diferentes amostras apresentaram teores de umidade relativamente próximos em valores, todos abaixo de 10% (Tabela 2). Este resultado apresenta-se adequado ao uso energético do carvão; para a queima, o carvão deve ter uma umidade inferior a 12%, pois valores superiores a esse reduzem significativamente o valor do calor de combustão, da temperatura da câmara de queima e da temperatura dos gases de escape (ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005).

Houve diferenças estatisticamente significativas entre as amostras. A amostra 4 proveniente da região de Esteio, no Rio Grande do Sul, apresentou menor teor de umidade (7,92%). As amostras 1 e 2 com menores teores, 9,59% e 9,39 respectivamente, com valores intermediários para a amostra 3.

Tabela 1 - Teor de finos

Amostra		% de finos
1	Carvão de espécie *N.I	7,85
2	Carvão de <i>Mimosa scabrella</i> Bentham	5,98
3	Carvão de <i>Eucalyptus</i> sp	3,18
4	Carvão de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild	0,54

Legenda: *N.I. = não identificado.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2 - Teor de umidade

Amostra		% de umidade
1	Carvão de espécie *N.I	9,59 ± 0,22 a
2	Carvão de <i>Eucalyptus</i> sp	9,39 ± 0,37 a
3	Carvão de <i>Mimosa scabrella</i> Bentham	8,55 ± 0,33 b
4	Carvão de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild	7,92 ± 0,49 b

Legenda: *N.I. = não identificado.

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: Variáveis seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

O teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo após a combustão completa do carvão vegetal. Esse varia de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie de madeira utilizada na carbonização bem como sua quantidade de casca, da presença de terra e areia. Um bom carvão vegetal deve ter um conteúdo de cinzas inferior a 3% (FAO, 1983; CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2009).

Com os resultados de cinzas obtidos, verificamos que a amostra 1 apresentou o maior teor de cinzas, 24,05% (Tabela 3), valor muito maior que o esperado. Todas as amostras apresentaram teor de cinza superior ao recomendado na literatura; a amostra que mais se aproximou da norma foi a amostra 4 que obteve 4,04%.

O Poder Calorífico (Tabela 4) é a mais importante das variáveis analisadas, uma vez que o objetivo é obter combustíveis que liberem maior quantidade de energia por unidade de massa. Os resultados das quatro amostras de carvão foram muito próximos, com média de 7364,75 kcal/kg, praticamente igual aos dados encontrados na literatura que divulgam valores de Poder Calorífico Inferior em torno de 7000 kcal/kg para carvão vegetal. Das amostras, a que teve o mais alto valor foi a 1 com 7561 kcal/kg e o pior rendimento energético foi de 7079 kcal/kg.

Apesar de a amostra 1 ter se sobressaído em relação ao Poder Calorífico, isso não é algo necessariamente bom, pois na embalagem não constam informações acerca da espécie carbonizada nem da empresa produtora. É provável que esse carvão tenha sido produzido com espécies de alta densidade, que, em sua maioria, são de lento crescimento e provenientes de floresta nativa. Trata-se de um dos principais problemas ambientais no Brasil (BRAND, 2010).

Conclusões

Este estudo utilizou-se de ensaios que fornecem a porcentagem de teor de finos, o Poder Calorífico, o teor de cinzas e o teor de umidade para comparar carvões de diferentes procedências. Como resultado dessa pesquisa, obtiveram-se variações significativas para as diferentes amostras, com teor de finos na faixa de 0,54% a 7,85%, umidade de 7,92% a 9,59%, cinzas de 4,04% a 24,05% e Poder Calorífico na faixa de 7079 a 7561 kcal/kg. A amostra de *Acacia mearnsii* De Wild apresentou um dos melhores resultados, com 7,92% de teor de umidade, 4,04% de cinzas, 0,54 de finos e 7561 kcal/kg de PCI.

Tabela 3 - Teor de cinzas

Amostra		% Teor de cinzas
1	Carvão de espécie *N.I	24,05 ± 2,59 a
2	Carvão de <i>Eucalyptus</i> sp	9,89 ± 1,29 b
3	Carvão de <i>Mimosa scabrella</i> Bentham	8,16 ± 2,10 b
4	Carvão de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild	4,04 ± 1,66 c

Legenda: *N.I. = não identificado.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4 - Poder Calorífico das amostras

Amostra		*PCI
1	Carvão de espécie *N.I	7561
2	Carvão de <i>Acacia mearnsii</i> De Wild	7553
3	Carvão de <i>Eucalyptus</i> sp	7266
4	Carvão de <i>Mimosa scabrella</i> Bentham	7079

Legenda: *PCI = Poder Calorífico inferior (kcal/kg); **N.I. = não identificado.

Fonte: Dados da pesquisa.

Conclui-se que a análise de produtos destinados à geração de energia, a partir de madeira carbonizada, é uma informação importante para um melhor conhecimento do produto que está sendo comercializado. Visando identificar um carvão de boa qualidade e procedência, propõem-se as seguintes especificações aos fabricantes: teor de umidade, cinzas e finos abaixo de 12%, 3% e 10%, respectivamente; com Poder Calorífico Inferior acima de 7000 kcal/kg. Adicionalmente, os valores médios obtidos nas análises das amostras devem constar na embalagem do produto. Também deve fazer parte dados como a espécie de madeira utilizada bem como a sua origem, se é de floresta plantada ou nativa, por meio do Documento de Origem Florestal (DOF), bem como a localização da empresa e tipo de forno utilizado na carbonização. Essas informações facilitarão a fiscalização por meio de órgãos governamentais e dariam um melhor embasamento ao consumidor, o qual teria elementos para a escolha do produto da maneira que melhor lhes convém.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Doutor José Otávio Brito pelas análises de Poder Calorífico.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma para ensaios de qualidade de carvão vegetal**. São Paulo, 1986. 40 p.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. **Anuário estatístico**. Belo Horizonte, 2006.
- BARROSO, R. C. **Redução do teor de cinzas dos finos de carvão vegetal por concentração gravítica a seco**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas: Unicamp, 2009.
- DIN 51900. **Testing of solid and liquid fuels**. German: Beuth Verlag GmbH, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Métodos simples para fabricar carbón vegetal**. Roma: FAO, 1983. 154 p.
- MACHADO, F. S.; ANDRADE, A. M. Propriedades termoquímicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para a injeção nas ventaneiras de altos-fornos siderúrgicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 353-363, 2004.
- ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Unicamp, 2005.
- SAMPAIO, R. S. Agente redutor na produção de metais: exemplo do eucalipto na produção de ferro-gusa. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 145-155, 2004.
- SEIXAS, F.; COUTO, L.; RUMMER, R. B. Colheita de plantios arbóreos de curta rotação para energia. **Biomassa & Energia**, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2006.
- TRUGILHO, P. F. et al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Revista Cerne**, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.
- TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.
- VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis hill ex- maiden* e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

Recebido: 01/10/2010

Received: 10/01/2010

Aprovado: 14/03/2013

Approved: 03/14/2013