Análise da qualidade do carvão vegetal para uso residencial na região de Curitiba, Paraná, Brasil

Analysis of charcoal quality for residential use in the region of Curitiba, Paraná, Brazil

Mônica Joelma do Nascimento Anater^{1*}, Carlos Roberto Sanquetta²,
Martha Andreia Brand³, Dimas Agostinho da Silva² e Ana Paula Dalla Corte²

RESUMO

No Brasil, o carvão vegetal tem dois principais usos: o industrial, na produção de ferro-gusa e aço, e o doméstico, usado majoritariamente para preparo de churrasco. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do carvão vegetal para uso doméstico na região de Curitiba, Paraná, Brasil, visto que o Estado do Paraná não possui normativas que intervenham nesse aspecto. Para isso, foram coletadas 15 marcas comercializadas na cidade e analisadas suas propriedades físicas e energéticas em laboratório. Os valores médios das amostras analisadas apresentaram teor de umidade de 5,79%, teor de voláteis de 22,93%, carbono fixo de 74,95%, teor de cinzas de 2,12% e teor de finos de 8,27%, poder calorífico de 7.321 kcal kg⁻¹, com densidade relativa aparente e verdadeira de 0,329 g cm⁻³ e 1,394 g cm⁻³, respectivamente. Quase a metade (47%) das amostras apresentaram presença de materiais estranhos ou atípos nas embalagens. De acordo com a embalagem das amostras, a bracatinga e os eucaliptos foram as espécies mais utilizadas para produção do carvão vegetal. Apesar da falta de informações e padronização em algumas embalagens, todas possuíam registros em órgãos ambientais federais e/ou estaduais. Conclui-se que a qualidade do carvão vegetal comercializado em Curitiba é baixa.

Palavras-Chave: testes de qualidade, consumo residencial de carvão vegetal, propriedades do carvão vegetal.

ABSTRACT

In Brazil, charcoal has two main uses: the industrial, in the production of pig iron and steel, and the domestic, primarily used for barbecue. The objective of this work was to evaluate the quality of charcoal for domestic use in the region of Curitiba, Paraná, Brazil, since the state of Paraná does not have norms that ensure in this aspect. For this, 15 brands marketed in the city were collected and their physical and energetic properties analyzed. The average values of the samples had a moisture content of 5.79%, volatile content of 22.93%, fixed carbon of 74.95%, ash content of 2.12% and fines content of 8.27%, calorific value was 7,321 kcal kg⁻¹, with bulk density and real relative density of 0.329 g cm⁻³ and 1.394 g cm⁻³, respectively. Almost half (47%) of the samples showed presence of foreign materials or stumps in the packages. According to the sample packaging, bracatinga and eucalyptus were the most used species in the production of charcoal. Despite the lack of information and standardization in some packages, all had records in federal and / or state environmental agencies. It is concluded that the quality of charcoal used in Curitiba is low.

Keywords: quality tests, residential consumption of charcoal, charcoal properties.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o carvão vegetal apresenta dois grandes focos de consumo. O primeiro, no uso industrial, para a produção de ferro-gusa e aço, onde tem objetivo de agente redutor, consumindo em 2016, 86% do total do carvão vegetal produzido do Brasil (EPE, 2017). O segundo grande foco é o uso doméstico, responsável no mesmo ano pelo consumo de 12% do total produzido, totalizando 664 mil

1. Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo – USP. São Paulo / SP, Brasil.

2. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba / PR, Brasil.

3. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC. Lages / SC, Brasil.

Autor correspondente: anaater@hotmail.com

toneladas. Este, por sua vez, é utilizado para aquecimento e conforto térmico e, principalmente, como fonte de calor para o preparo de alimentos como churrasco, alimento de grande importância cultural do país (DIAS JÚNIOR et al., 2015).

O carvão vegetal para uso industrial necessita de características específicas para o melhor desempenho do processo siderúrgico; por esse motivo, o controle da cadeia produtiva desse energético é muito superior ao verificado em relação àquele destinado ao uso doméstico. Pode-se citar que a qualidade é um dos maiores problemas associados ao uso doméstico do carvão vegetal. A qualidade do energético produzido varia principalmente em função da matéria-prima utilizada, tipo de acondicionamento, tempo de estocagem e a eficiência do processo de carbonização para produção do mesmo (NOGUEIRA; LORA, 2003; ROSA, 2010; SILVA, 1988).

O carvão vegetal para uso doméstico deve possuir alta densidade aparente, baixo teor de umidade e de materiais voláteis, baixos teores de cinzas, alto teor de carbono fixo e alto poder calorífico (BRITO, 1993; BRITO et al., 1982; MACHADO; VOGUEL; SILVA, 2014; RIBEIRO; VALE, 2008; SILVA, 1988). Além disso, deve ser facilmente inflamável, ter baixa emissão de fumaça (BRITO; BARRICHELO, 1981) e não possuir atíços (partes não carbonizadas da madeira) (ROSA, 2010).

A friabilidade do material é uma característica de grande importância, e neste quesito deve ser baixa, o que possibilita um baixo teor de finos, demonstrando integridade, favorecendo no transporte e manuseio, reduzindo a perda de material (MACHADO; VOGEL; SILVA, 2014; OLIVEIRA; GOMES; ALMEIDA, 1982). Outra característica, de igual importância é a densidade do material, onde procura-se sempre ser a maior possível desde que não interfira em outras características. A densidade do carvão vegetal é influenciada principalmente pela madeira que o originou, e também pelo tipo de carbonização e o tempo de residência no forno (SILVA; BRITO, 1989).

Atualmente, o Estado de São Paulo, criou o “Selo Premium”, aprovando por meio da Resolução SAA - 10, de 11-7-2003, padrões e normas para que o carvão vegetal produzido atinja um nível de qualidade mínima para ser comercializado (SÃO PAULO, 2003). O carvão vegetal do Selo Premium deve ter origem de florestas plantadas e não deve possuir madeira semicarbonizada (atíços). Além disso, a análise imediata deve indicar um teor de carbono fixo acima de 75%, cinzas abaixo de 1,5% e teor de umidade abaixo de 5%. O Selo Premium determina ainda que as condições de conservação, manuseio, armazenamento, embalagem e expedição não devem influenciar negativamente na qualidade dos produtos finais. Além disso, a rastreabilidade da matéria-prima (origem, tipo, lotes, datas e testes realizados, termo de responsabilidade do produtor, etc.), aspectos de preservação ambiental, segurança do trabalho, e o não utilizar mão de obra infantil, são pontos especificados na Resolução. Atualmente é o único Estado brasileiro que possui normas concretas que estipulem uma qualidade mínima para consumo doméstico, por esse motivo, muitos trabalhos tomam como referência de qualidade os valores estipulados pelo Selo Premium, tais como Brand et al. (2015), Jacinto (2014), Nisgoski et al. (2014), Oliveira et al. (2015) e Rosa et al. (2012).

Devido a importância desse energético como combustível para o preparo de alimentos na região Sul, a criação de uma normativa que garantisse o aspecto de qualidade do carvão vegetal, tal como o criado pelo Estado de São Paulo, seria de grande relevância. Dessa forma, no intuito de fornecer informações ao poder público no contexto de qualidade do energético, esse trabalho tem como objetivo diagnosticar a qualidade do carvão vegetal para consumo doméstico comercializado na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de carvão vegetal de 15 marcas comercializadas na cidade de Curitiba foram adquiridas. Para a aquisição das amostras, buscou-se aleatoriedade na localidade de compra e variabilidade de preços. Para evitar perda de umidade originalmente contida nas amostras, o carvão vegetal foi, logo após a compra, acondicionado em sacos plásticos, lacrado e etiquetado, de modo a manter as condições iniciais dos postos de venda. Além disso, anotaram-se as informações disponíveis nas embalagens, como informações de preço, data de fabricação, endereço do fabricante, origem do carvão vegetal, volume e/ou peso, presença de alça e acendedor, registro em órgãos ambientais de âmbito estadual e/ou federal. Essas informações foram utilizadas para avaliação das amostras.

As amostras foram preparadas para sua avaliação mecânica, física e química de acordo com as normas indicadas para cada análise. Como passo inicial, uma amostra representativa, aproximadamente 0,5 kg, foi tomada de cada marca de carvão vegetal e, com ajuda de um moinho de facas, foi moída

e preparada para as análises. As amostras variaram entre 10 a 20% do peso total das embalagens, visto que estas possuíam entre 2,5 e 5 kg de carvão vegetal.

Para o teste de teor de umidade (TU), foi utilizado o procedimento descrito na norma NBR 14929 (ABNT, 2003). Para o teste do Poder Calorífico Superior (PCS) utilizou-se a norma da ASTM D5865 (ASTM, 2013), com amostras a 60 *mesh* (250 μ m). A Análise Química Imediata (AQI), que identifica o Teor de Materiais Voláteis (TMV), o Teor de Carbono Fixo (TCF) e o Teor de Cinzas (TCZ) das amostras, foi realizada baseando-se na norma ASTM D1762-84 (ASTM, 2007).

Para a determinação do índice de quebra e abrasão ou grau de friabilidade do carvão vegetal realizou-se o teste de tamboreamento, tomando como base a NBR 8740 (ABNT, 1985) em conjunto com metodologia descrita por Oliveira, Gomes e Almeida (1982). Nesse teste foi utilizado um cilindro rotativo, fixo em um eixo horizontal, acoplado a um conjunto motor que permite o giro do cilindro, com 500 g de amostra, com tamanho do material superior a 32 mm, que foi colocada no tambor e submetida a 30 rpm. Após 500 rotações, o material foi retirado, peneirado e a parte correspondente à quantidade retida pela malha de 13 mm da peneira utilizada, foi pesada. Considerou-se como finos a parcela da amostra que passou pela peneira, ou seja, com granulometria abaixo a 13 mm.

Para a determinação da Densidade Relativa Aparente (DRA) foi utilizada como base a norma ASTM D-167-93 (ASTM, 1999) para carvão mineral, adaptada para carvão vegetal, em conjunto com a metodologia sugerida por Oliveira, Gomes e Almeida (1982). Assim, cerca de 500 g de amostra seca em estufa a 105 ± 2 °C foi utilizada, e submersa por 15 min em um cilindro completo por água. A amostra foi presa em pesos, para garantir a manutenção do carvão vegetal submerso durante o experimento. A água deslocada pela amostra foi recolhida e pesada, além da própria amostra úmida ser pesada, assim, a DRA foi obtida por meio da relação entre a massa seca e a massa de água deslocada e a água absorvida pelo carvão vegetal durante o experimento, conforme a equação:

$$D = \frac{A}{[B + (C - A)]}$$

Em que: D é a densidade (g cm^{-3}), A é a massa seca do carvão vegetal (g), B é massa (g) de água deslocada pelo carvão vegetal seco e C é massa (g) do carvão vegetal após a submersão em água.

A densidade relativa verdadeira (DRV) e a Porosidade (P) foram obtidas utilizando a metodologia descrita na norma ASTM D 167 – 93 (ASTM, 1999), com carvão vegetal com tamanho médio de partículas de 200 *mesh*.

Em um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), os efeitos dos tratamentos foram testados por meio do Teste F ao nível de 5% de significância. Ao verificar efeitos estatisticamente significativos, foi utilizado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância para comparação de médias. Para isso, utilizou-se o software ASSISTAT®-Statistical Assistance.

Foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) para verificar possíveis relações lineares entre variáveis dos testes físico-químicos. Para verificar se a correlação é forte ou fraca, adotou-se a classificação de Correa (2003), em que:

- $0,1 \leq |r| < 0,3$ = correlação fraca;
- $0,3 \leq |r| < 0,6$ = correlação fraca para moderada;
- $0,6 \leq |r| \leq 1$ = correlação moderada para alta, onde a correlação é significativa.

Por meio de pesquisa bibliográfica foram analisados os resultados obtidos na caracterização do carvão vegetal, para verificar se os parâmetros estimados estavam dentro de valores estabelecidos e adequados para o produto, tomando como base principalmente o Selo Premium de avaliação de carvão vegetal adotado no Estado de São Paulo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Informações gerais do carvão vegetal comercializado em Curitiba

As primeiras informações obtidas foram encontradas nas embalagens dos produtos adquiridos, tal como descrito na Tabela 1. Nesse momento foram obtidas as informações quanto à presença de dispositivos acessórios (alça e acendedor), massa descrita na embalagem, preço, local de fabricação, espécies florestais utilizadas (quando informado), se houve a constatação do número de lote e se as marcas foram registradas em órgãos ambientais nacionais e/ou estaduais.

Tabela 1 – Informações das embalagens das amostras de carvão vegetal comercializadas na cidade de Curitiba.**Table 1** – Package information of charcoal brands marketed in the city of Curitiba.

Amostra	Massa (kg)	R\$	Local de fabricação	Espécies	Registro	Presença	
						Alça	Acendedor
1	4,0	15,92	Campo Magro – PR	ME, Br e Eu	E	Não	Não
2	4,0	12,92	Campo Magro – PR	EFD	E	Sim	Não
3	5,0	10,00	São Mateus do Sul – PR	-	E	Não	Não
4	2,5	11,60	Maringá – PR	MP	E N	Não	Não
5	3,0	10,89	Colombo – PR	-	E N	Sim	Não
6	4,0	10,08	Bocaiúva do Sul – PR	-	E N	Não	Não
7	4,0	10,00	Curitiba – PR	EFD, Eu	E N	Sim	Sim
8	5,0	12,00	Curitiba – PR	ME, Br, Eu	E	Não	Não
9	4,0	10,00	Contenda – PR	-	E N	Não	Não
10	4,0	11,96	Fazenda Rio Grande – PR	EFD	E N	Sim	Sim
11	4,0	9,92	Curitiba – PR	MN e ME	E N	Sim	Não
12	3,0	12,60	Nova Ponte – MG	MP	E N	Sim	Não
13	4,0	12,92	Curitiba – PR	ME, Br e Eu	E N	Sim	Não
14	4,0	10,00	Prudentópolis – PR	Br, Eu, Bq	E N	Sim	Não
15	4,0	10,00	Curitiba – PR	MN, Br, Eu	E N	Sim	Não

*Valores referentes ao mês de janeiro de 2016. Em que: E= Registro em órgão estadual. N= Registro em órgão nacional. ME= Madeiras exóticas; Br= Bracatinga; MP= Madeira plantada; MN = Madeira nativa, EFD = Essências florestais diversas; Eu= Eucalipto e Bq= Briquete;

*Values referring to the month of January 2016. Where: E= Registration in a state institution. N= Registration with a national institution. ME= Exotic wood; Br= Bracatinga; MP= Planted wood; MN= Native wood, EFD= Diverse forest essences; Eu= Eucalyptus and Bq= Briquette;

Quanto à alça, 60% do total possuíam o acessório, enquanto que o acendedor, 86,7% não possuíam, além disso, não houve relação entre o preço do saco de carvão vegetal e a presença ou não dos acessórios descritos. Apesar dessas características não serem obrigatórias, por trazer comodidade no transporte e ignição, pode ser considerado um diferencial no momento da compra de acordo com Brand et al. (2015).

As espécies mais utilizadas para a produção de carvão vegetal foram a bracatinga (*Mimosa scabrella*) (5 amostras) e espécies do gênero *Eucalyptus* (6 amostras). Em seis amostras, constatou-se a falta de informações sobre a espécie e/ou origem, se de floresta nativa ou plantada. O fato de grande parte das marcas não oferecerem essas informações é preocupante. Isso inviabiliza, por exemplo, o processo de escolha do produto pelo consumidor. A grande utilização de lenha de origem nativa indica grande pressão sobre as florestas naturais do estado. De fato, o Paraná é um dos maiores produtores de carvão vegetal de origem nativa da região Sul, onde, no ano de 2015 foi responsável pela produção de 95% do total de carvão vegetal a partir dessa fonte na região (IBGE, 2015).

Foi verificado que a distância média entre as cidades produtoras até Curitiba foi de 128,4 km. Esse número é resultado da média de todas as distâncias de rodovias entre a cidade informada e o local de venda. A única amostra de fora do estado do Paraná foi aquela proveniente do município de Nova Ponte (MG), localizado a mais de 900 km de Curitiba. Considerando esta, como exceção, a maioria das marcas (11 delas) é oriunda da região metropolitana de Curitiba, onde a distância média entre o produtor (ou embalador) é de 17,7 km, caracterizando uma produção/consumo regionalizada. É importante destacar que as distâncias verificadas no estudo podem ser diferentes da distância real (entre o produtor e o comercializador final). Isso se deve ao fato de que as empresas embaladoras de carvão vegetal podem não ser as produtoras do energético. Assim, a rastreabilidade do produto pelo consumidor é praticamente impossível, visto que um embalador pode possuir diversos fornecedores de carvão vegetal.

Todas as marcas disponibilizam o número de registro em órgão estadual e/ou em órgão nacional. Nenhuma das marcas apresentou o número de lote de produção. Esse mesmo padrão foi encontrado por Oliveira et al. (2015), na região Oeste do Paraná, nas cidades de Palotina, Altônia, Toledo e Ouro Verde do Oeste, onde os autores identificaram que as embalagens não constavam informações quanto as espécies utilizadas nas produções, porém, todas possuíam registro no IBAMA.

Constatou-se que quantidade de produto em cada embalagem não possui padronização, variando entre 2,5 e 5 quilos. O preço médio verificado para cada 4 kg de produto foi de R\$ 12,04, com grande variação entre as amostras. O preço por quilo das amostras variou entre R\$ 2,00 da Amostra 3 e R\$ 4,64 da Amostra 4.

Índices físico-químicos do carvão vegetal das amostras analisadas

A Tabela 2 apresenta os resultados para testes físicos do carvão vegetal, incluindo os testes de médias para a umidade, poder calorífico superior, densidade relativa aparente, densidade relativa verdadeira e teor de finos. Além disso, a tabela informa a presença ou ausência de atíços e/ou impurezas aparentes encontradas nas embalagens, além da porosidade calculada do material.

Tabela 2 – Resultado das análises das propriedades físicas das amostras de carvão vegetal comercializado na cidade de Curitiba e indicativo da presença de impurezas.

Table 2 - Results of the analysis of the physical properties of charcoal samples commercialized in the city of Curitiba and indicative of the presence of impurities.

Amostra	DRA (g.cm ⁻³)	DRV (g.cm ⁻³)	P (%)	TF (%)	TU (%)	Atíços e/o impurezas
1	0,329 c	1,430 a	76,98	12,57 b	6,31 a	Sim
2	0,247 d	1,304 b	81,06	8,90 d	6,98 a	Sim
3	0,268 d	1,295 b	79,33	7,77 e	5,58 b	Não
4	0,516 a	1,429 a	63,87	5,36 g	4,58 b	Não
5	0,263 d	1,332 b	80,23	6,79 f	5,14 b	Sim
6	0,256 d	1,459 a	82,46	8,23 e	5,45 b	Não
7	0,269 d	1,364 b	80,31	6,92 f	5,27 b	Sim
8	0,389 b	1,468 a	73,51	7,92 e	7,24 a	Sim
9	0,319 c	1,344 b	76,26	13,85 a	5,83 b	Sim
10	0,414 b	1,440 a	71,24	10,34 c	5,36 b	Não
11	0,279 d	1,363 b	79,54	9,04 d	5,60 b	Não
12	0,384 b	1,404 a	72,69	4,89 h	5,34 b	Não
13	0,283 d	1,365 b	79,28	6,37 f	6,50 a	Não
14	0,387 b	1,464 a	73,56	8,20 e	6,18 a	Não
15	0,330 c	1,445 a	77,14	6,92 f	5,52 b	Sim
Média	0,329	1,394	76,50	8,27	5,79	-

Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). DRA = densidade relativa aparente; DRV = densidade relativa verdadeira; P = porosidade; TF = teor de finos; TU = Teor de umidade; PCS = poder calorífico superior; Averages followed by the same letter vertically do not differ significantly by the Scott-Knott test ($p < 0,05$). DRA = bulk density; DRV = real relative density; P = porosity; TF = content of fines; TU = Moisture content; PCS = higher calorific value;

A porosidade, que relaciona a DRA com a DRV variou entre 63,87% e 82,46% e, de maneira geral, madeiras com menores DRA apresentaram maiores porosidades.

Silva (1988) analisou a qualidade do carvão vegetal de 28 famílias botânicas diferentes da região de Manaus, produzido em fornos de alvenaria e como resultados médios obteve DRA de 0,51 g cm⁻³, DRV de 1,48 g cm⁻³ e porosidade de 65,28%. Machado, Voguel e Silva (2014) encontraram um DRA de 0,326 g cm⁻³ para carvão de madeira de cinamomo (*Melia azedarach*). Brand et al. (2015) encontraram um valor de densidade relativa aparente de 0,403 g cm⁻³, considerada pelos autores como alta, em seu trabalho sobre qualidade do carvão vegetal para uso doméstico na Região Serrana Sul de Santa Catarina. Jacinto (2014) encontrou valores para o DRA de 0,403 g cm⁻³ e DRV 1,36 g cm⁻³, e uma porosidade de 69,66% para carvão de uso doméstico. Já Oliveira et al. (2010) encontraram valores para o DRV de 1,459 g cm⁻³ a 1,667 g cm⁻³, DRA de 0,353 g cm⁻³ a 0,385 g cm⁻³ e porosidade de 74,04% a 77,91%. Tais valores se mostraram muito próximos àqueles encontrados neste trabalho.

No tocante ao teor de finos, os valores variaram entre 4,89% para a amostra 12 até 13,85% para a amostra 9 (Tabela 2). Houve diferenças estatísticas entre a maioria das amostras. De acordo com as classes de classificação indicadas por Oliveira, Gomes e Almeida (1982), de modo geral as amostras analisadas podem ser consideradas como “pouco friáveis”, e apresentaram valores inferiores ao encontrado por outros autores na literatura (MACHADO; VOGEL; SILVA, 2014; SILVA, 1988; SILVA; BRITO, 1989), indicando que o carvão vegetal comercializado em Curitiba apresenta boa resistência mecânica.

O teor de umidade apresentou baixa variabilidade estatística, sendo dividido em apenas dois grupos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). O valor médio 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.

O teor médio de umidade verificado neste trabalho está acima do estabelecido pelo Selo Premium (SÃO PAULO, 2003), que estabelece valores abaixo de 5,0%. Se esse valor fosse tomado como referência, apenas uma das amostras estaria dentro das especificações enquanto todas as outras estariam reprovadas, uma vez que apenas a amostra 4 (Tabela 2) com teor de umidade de 4,58%, apresentou níveis dentro das recomendações.

Os valores elevados do teor de umidade podem ser atribuídos ao modo de armazenagem do produto, já que em muitos casos não se notou preocupação por parte dos comerciantes quanto à armazenagem do carvão vegetal e em algumas situações o produto estava exposto às intempéries. Segundo o Selo Premium, o produto deve estar sempre abrigado de chuva e disposto em local arejado, evitando riscos de incêndios. Rosa et al. (2012) analisaram a qualidade do carvão vegetal para consumo doméstico em três municípios do Espírito Santo. Segundo os autores, algumas marcas não atenderam as especificações do Selo Premium devido ao teor de umidade, que variou entre 4,14% e 5,57%; porém, a maioria das marcas estudadas apresentava qualidade satisfatória para consumo doméstico.

A presença da madeira semicarbonizada (atiço) é um agravante que influi diretamente na qualidade do carvão vegetal e ocorre geralmente quando não há disposição adequada da madeira ou quando sejam empregadas temperaturas demasiadamente baixas e heterogêneas dentro dos fornos de carbonização. Das 15 amostras estudadas, sete (47%) apresentaram atiços e/ou impurezas (Figura 1). Essa porcentagem é consideravelmente alta, já que isso significa que metade das amostras apresentou carbonização ineficiente e insuficiente das madeiras. Considerando o Selo Premium de São Paulo, essas sete marcas seriam reprovadas para o consumo doméstico, já que, segundo as especificações do Selo, o carvão vegetal deve estar isento de quaisquer materiais que não sejam o próprio carvão vegetal.

Além de atiços, foram encontrados objetos não pertencentes à origem florestal, tal como pedaços de cerâmica em uma das amostras. Isso afeta negativamente a qualidade do carvão vegetal e demonstra a importância de uma legislação que garanta ao consumidor a pureza do material, evitando danos de cunho financeiro a este. A presença de atiços nas amostras é comum, sendo descrito nos trabalhos de Rosa (2010) e Oliveira et al. (2015), e justificados devido à falta de controle no processo de produção de carvão vegetal.

Figura 1 – Porcentagem de amostras que continham atiços e/ou impurezas e exemplo de atiço encontrado em uma das amostras de carvão vegetal.

Figure 1 - Percentage of samples containing stumps and / or impurities and example of badly charred charcoal found in one of the charcoal samples.

A presença de atiços consiste então em dois problemas principais: o primeiro diz respeito aos gases lançados ao carbonizar por completo a madeira semicarbonizada, que gerará gases tóxicos que contaminam tanto os alimentos quando o usuário; o segundo diz respeito à ilegitimidade da venda, uma vez que a madeira possui uma maior densidade básica, sendo assim mais pesada, fazendo com que a embalagem do produto possua menos carvão vegetal e mais madeira.

A Tabela 3 apresenta as propriedades energéticas das amostras estudadas, onde exibe-se os resultados obtidos dos testes de Análise Química Imediata (AQI), especificamente o teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas (TCZ) e teor de carbono fixo (TCF) além do Poder Calorífico Superior (PCS) encontrado.

Tabela 3 – Propriedades energéticas do carvão vegetal comercializado em Curitiba.

Table 3 - Energy properties of charcoal marketed in Curitiba.

Amostra	TMV(%)	TCZ (%)	TCF(%)	PCS (kcal/kg)
1	32,82 a	2,92 d	64,26 i	6.678 g
2	16,04 i	3,12 c	80,83 b	7.706 b
3	16,78 h	3,40 b	79,82 c	7.526 c
4	18,19 g	0,59 l	81,21 b	7.840 a
5	24,63 e	1,70 g	73,67 e	7.351 d
6	23,97 e	2,33 f	73,70 e	7.460 c
7	29,80 b	3,87 a	66,33 h	6.835 f
8	15,48 i	1,29 h	83,23 a	7.702 b
9	27,32 c	0,82 j	71,86 f	7.274 d
10	17,03 h	2,78 e	80,19 c	7.477 c
11	18,15 g	1,75 g	80,09 c	7.527 c
12	22,10 f	0,97 i	76,93 d	7.297 d
13	28,30 c	1,77 g	69,94 g	7.064 e
14	27,76 c	3,31 b	68,94 g	6.865 f
15	25,58 d	1,15 h	73,26 e	7.210 d
Média	22,93	2,12	74,95	7.321

Em que: Médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Where: Averages followed by the same letter vertically do not differ significantly by the Scott-Knott test ($p < 0.05$).

Para o poder calorífico superior (PCS) foi verificada uma grande variação entre as amostras, onde a maioria delas se mostraram estatisticamente diferentes entre si. O menor PCS foi encontrado para a Amostra 1 que possui origem mista de madeiras exóticas, bracatinga e eucalipto, com um PCS de 6.678 kcal kg⁻¹. O maior PCS é correspondente à Amostra 4, com 7.840 kcal kg⁻¹, com origem de madeira plantada de manejo sustentável. O valor médio para o PCS encontrado neste trabalho foi de 7.321 kcal kg⁻¹. O valor foi próximo ao encontrado por Oliveira et al. (2015) entre 5.377 kJ kg⁻¹ e 7.420,60 kJ kg⁻¹. Brand et al. (2015) encontraram PCS médio de 6.449 kcal kg⁻¹, para carvões provenientes da região Serrana Sul de Santa Catarina. Jacinto (2014) analisou a qualidade do carvão vegetal comercializado para uso doméstico na região serrana de Santa Catarina, que incluíam os municípios de Lages, Urubici e Curitiba. O autor encontrou valores de 5,07% para TU e PCS de 7.114 kcal kg⁻¹.

No tocante ao TMV, a maioria das amostras apresentaram diferenças significativas ao aplicar o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. Os valores de TMV variaram entre 15,48% (Amostra 8) e 32,82% (Amostra 1), cuja média obtida foi de 22,93%. Em geral, quanto maior o teor de voláteis, menor o tempo de carbonização que o carvão vegetal sofreu. Quanto ao TCZ, os valores variaram entre 0,6% para a Amostra 4 e 3,87% para a Amostra 7. A média de 2,12% mostra que o teor de inorgânicos nas amostras encontram-se em níveis relativamente altos.

Para o TCF, o maior valor encontrado foi da Amostra 8 (83,23%) que tem origem de bracatinga e eucalipto. O menor valor foi encontrado para a Amostra 1, com 64,26%, que possui as mesmas origens florestais do carvão vegetal da Amostra 8. Isso pode demonstrar que as diferenças na produção de cada carvão, como tempo de carbonização, temperatura e tipo de forno, além de fatores como idade da árvore, influenciam diretamente nas características físicas, mesmo possuindo a mesma matéria-prima.

Machado, Voguel e Silva (2014) encontraram valores médios de 26,04% para o TMV, 0,67% para o TCZ e 73,29% para o TCF em carvão de cinamomo (*Melia azedarach*) produzido em laboratório. Brand et al. (2015), verificaram valores de 32,85%, 1,96% e 65,17% para TMV, TCZ e TCF, respectivamente. Valores descritos por Jacinto (2014) para carvões de uso doméstico foram de: 27,15% (TMV), 1,64 (TCZ) e 71,2% (TCF). Oliveira et al. (2015) ao analisarem carvão vegetal para uso doméstico demonstraram valores de TCF entre 53,94 e 81,06%, TMV entre 14,53 e 40,70% e TCZ entre 2,96 e 18,11%.

Nisgoski et al. (2014) analisaram as características anatômicas e energéticas do carvão de cinco espécies: *Byrsonimaspicata*, *Calophyllum brasiliense*, *Cecropiasciadophylla*, *Cochlospermum morinocense* e *Scheffleramorototoni*. O teor de voláteis variou entre 20,9% a 31,76%, o teor de cinzas variou entre 0,1% a 3,8% e o teor de carbono fixo entre 68,2% e 75,2%. As espécies não foram indicadas para a produção de carvão, pois segundo os autores o TCZ e o TMV estão acima do indicado para carvão produzido para uso doméstico tomando como comparação o estabelecido pelo Selo Premium de São Paulo.

O Selo Premium recomenda que o TCZ seja inferior a 1,5%, o TMV seja inferior a 23,5% e o TCF superior a 75%. Os valores encontrados neste trabalho estão muito próximos aos definidos pela Resolução SMA n° 40, tendo sido de 2,12%, 22,93% e 74,95% para TCZ, TMV e TCF, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 - Comparação da média das amostras de carvão vegetal com o estipulado pelo Selo Premium para Teor de Materiais Voláteis (TMV), Teor de Carbono Fixo (TCF) e Teor de Cinzas (TCZ).

Figure 2 - Comparison of the average of the charcoal samples with that stipulated by the Premium Seal for Volatile Material Content (TMV), Fixed Carbon Content (TCF) and Ash Content (TCZ).

Em termos gerais, a característica mais preocupante é o TCZ que se apresentou 41% acima do valor recomendado pelo Selo Premium. Dez amostras apresentaram TCZ superior ao recomendado. Segundo Machado, Vogel e Silva (2014), para aplicações energéticas, indica-se a escolha de madeiras com baixo teor de inorgânicos (cinzas), pois essas contribuem para um menor rendimento energético, já que absorvem parte da energia liberada na combustão.

Em suma, a Tabela 4 apresenta os valores obtidos por alguns autores onde é possível comparar os resultados obtidos por este trabalho e trabalhos que buscaram verificar a qualidade de carvão vegetal em diferentes localidades.

Tabela 4- Comparação dos valores obtidos neste trabalho com valores obtidos por outros autores com trabalhos semelhantes de caracterização e qualidade de carvão vegetal.

Table 4 - Comparison of values obtained in this work with values obtained by other authors in similar characterization works about charcoal quality.

	TU (%)	PCS (kcal kg ⁻¹)	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	DRA (g cm ⁻³)	DRV (g cm ⁻³)	P (%)	TF (%)
Valores obtidos neste trabalho	5,79	7.321	22,93	2,12	74,95	0,329	1,394	76,50	8,27
Selo Premium	<5,0	-	<23,5		<75				
Silva (1988)	6,80	6.826	17,65	2,29	80,06	0,51	1,48	65,28	34,1
Oliveira et al. (2010)		8.023	14,65	1,86	83,17	0,350	1,459	74,04	
		-	-	-	-	-	-	-	-
		8.339	9,71	2,19	88,17	0,385	1,667	77,91	
Nisgoski et al. (2014)			20,9	0,10	68,20				
			-	-	-				
			31,76	3,80	75,20				
Oliveira et al. (2015)	4,02	5.377	14,53	2,96	53,94				
	-	-	-	-	-				
	7,77	7.420	40,70	18,11	81,06				
Rosa et al. (2012)	4,17	7.432	15,65	0,68	75,33	0,373			
	-	-	-	-	-				
	5,57	7.827	23,64	1,65	83,40	0,379			
Silva e Brito (1989)		7.139						69,55	14,6
Brand et al. (2015)	7,35	6.449	32,85	1,96	65,17				

Em que: PCS= Poder Calorífico Superior; DRA= Densidade Relativa Aparente; TCZ= Teor de Cinzas; TU= Teor de umidade; TMV= Teor de Materiais Voláteis; TCF= Teor de Carbono Fixo; DRV= Densidade Relativa Verdadeira; P= Porosidade e TF= Teor de Finos.

Where: PCS = higher calorific value; DRA = Bulk density; TCZ = Ash content; TU = Moisture content; TMV = Volatile material content; TCF = Fixed carbon content; DRV = Real relative density; P = porosity; TF = content of fines.

Para verificar se as variáveis apresentaram alguma relação linear entre si, foi aplicado o coeficiente de correlação linear de Pearson. A Tabela 5 apresenta valores das correlações lineares entre as variáveis estudadas neste trabalho.

Tabela 5 - Correlação linear de Pearson para todas as características analisadas das amostras de carvão vegetal.
Table 5 - Pearson's linear correlation for all analyzed characteristics of charcoal samples.

	PCS	DRA	TMV	TCZ	TCF	TU	DRV
PCS	-						
DRA	0,22	-					
TMV	-0,91	-0,22	-				
TCZ	-0,41	-0,43	0,15	-			
TCF	0,95	0,28	-0,98	-0,32	-		
TU	-0,07	-0,25	-0,05	0,19	0,02	-	
DRV	-0,37	0,60	0,13	-0,20	-0,09	0,01	-

Em que: PCS= Poder calorífico superior; DRA= Densidade relativa aparente; TMV= Teor de materiais voláteis; TCZ= Teor de cinzas; TCF= Teor de carbono fixo; TU= Teor de umidade; DRV= Densidade relativa verdadeira;

Where: PCS = higher calorific value; DRA = Bulk density; TMV = Volatile material content; TCZ = Ash content; TCF = Fixed carbon content; TU = Moisture content; DRV = Real relative density;

As correlações fortes positivas encontradas foram entre o teor de carbono fixo (TCF) e o poder calorífico superior (PCS) e entre a densidade relativa aparente (DRA) e a densidade relativa verdadeira (DRV). Por sua vez, as correlações fortes negativas foram obtidas entre o teor de materiais voláteis (TMV) e o poder calorífico superior (PCS), e entre o teor de materiais voláteis (TMV) e o teor de carbono fixo (TCF). Isso ocorre já que quanto maior o teor de materiais voláteis, menor o teor de carbono fixo, que consequentemente afeta no poder calorífico do material.

CONCLUSÃO

Não há padronização de embalagens, impossibilitando a rastreabilidade do produto e dificultando a escolha pelos consumidores. Apesar da falta de padronização, as amostras apresentam registros em órgãos ambientais estaduais e/ou federais de fiscalização.

As essências florestais mais utilizadas foram a Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e espécies do gênero *Eucalyptus*. A alta utilização de madeira de nativa demonstra a grande pressão que essa origem florestal ainda sofre no estado do Paraná.

Os valores de teor de cinzas, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo, densidade relativa aparente e verdadeira, porosidade, poder calorífico e teor de umidade são considerados valores médios; já o índice de quebra e abrasão foi considerado baixo. Apesar disso, vários aspectos exigidos pelo Selo Premium não foram atendidos, tal como o teor de umidade, de cinzas e grandes quantidades de amostras com impurezas e/ou atíços, o que atesta um carvão vegetal de baixa qualidade.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8740**: Carvão vegetal - Determinação do índice de quebra e abrasão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. D5868 2013: **Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke**. West Conshohocken, 2013

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **D 1762 – 84**: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken, 2007.

- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **D 167-93**: Standard Test Method for Apparent and True Specific Gravity and Porosity of Lump Coke. West Conshohocken, 1999.
- 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.
- BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 181, 1993. 6 p.
- BRITO, J. O., BARRICHELO, L. E. G. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 2, n. 5, 1981. 19 p.
- BRITO, J. O., BARRICHELO, L. E., MURAMOTO, M. C., COUTO, H. D. Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal partir de sua densidade aparente. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 150, 1982. 6 p.
- CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e Estatística**. 2 ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p.
- DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; BRITO, J. O. E.; MILAN, M. Quality Function Deployment (QFD) in the Evaluation of Charcoal Quality Used for Food Cooking. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 2, p. 262-270, 2015.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional** - Relatório Síntese 2017 (ano base 2016). 2017. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017> >. Acesso em 13 jun. 2017.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados de produção silvicultura e extrativismo**. 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/J8BR6n> >. Acesso em 15 abr. 2017.
- JACINTO R.C. Qualidade do carvão vegetal comercializado para uso doméstico na Região Serrana de Santa Catarina. 2014. **Monografia** (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.
- MACHADO, G. O.; VOGEL, F.; SILVA, M. M. Influence of temperature carbonization in physical, chemical and energy of charcoal from cinamomo (*Melia azedarach* L.). **Ambiência**, Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 83-96, 2014.
- NISGOSKI, S., MAGALHÃES, W. L. E., BATISTA, F. R. R., FRANÇA, R. F., MUÑIZ, G. I. B. D. et al. Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 44, n. 3, p. 367-372, 2014.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.
- OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Estudos Preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal: Propriedades do Carvão Vegetal. In. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982. p. 7-38.
- 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.; CARNEIRO, A. D. C.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.
- RIBEIRO, P. G., VALE, A. T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58., 2006, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: UFSC, 2006.
- ROSA, R. A. **Qualidade do carvão vegetal, para uso doméstico, comercializado em três municípios do estado do Espírito Santo**. 2010. 55 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

ROSA, R. A., ARANTES, M. D. C., PAES, J. B., DE PAULA ANDRADE, W. S., MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 3, n. 2, 2012.

São PAULO (Estado). Resolução SAA - 10, de 11-7-2003. **Diário Oficial do estado de São Paulo**, v. 113, n. 129 - São Paulo, sábado, 12 de julho de 2003.

SILVA, D.A. Qualidade do carvão vegetal produzido com madeiras da região de Manaus em fornos de alvenaria. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 18, n. 1-2, p. 163-178, 1988.

SILVA, D. A., BRITO, J. O. Qualidade do carvão vegetal de madeiras amazônizas-Balbina. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 19, p. 525-530, 1989.

Recebido em: 20/05/2018

Aceito em: 05/12/2018