ConBRepro
X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
02 a 04 de dezembro 2020

Análise do Carvão Vegetal Para Uso Doméstico

Sabrine Basso
Departamento de Engenharia Química – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Giane Gonçalves Lenzi
Departamento de Engenharia Química – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Aldo Braghini Júnior
Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: No Brasil, o carvão vegetal é um importante insumo para a indústria siderúrgica, enquanto que em países subdesenvolvidos apresenta-se como principal acesso à energia, utilizado principalmente na cocção de alimentos. Embora desempenhe importante função, os meios de produção ainda são bastante rudimentares, caracterizados por baixos rendimento e considerável desperdício energético. Com isso, o presente artigo objetiva avaliar as características qualitativas em amostras de carvão vegetal para uso doméstico provenientes de processos simples, os quais não empregam tecnologias de controle. Foram realizadas a análise imediata, a determinação do poder calorífico e a análise por microscopia de varredura eletrônica (MEV). O resultado da análise imediata mostrou valores médios entre 4,54 e 4,98% para umidade, 70,43 e 71,87% para o teor de carbono fixo, 25,61 e 28,40% para o teor de materiais voláteis e 1,17 e 2,52% para o teor de cinzas. Tais valores estão condizentes com a literatura, no entanto, não cumprem as exigências estabelecidas pelo Selo Premium/SP. A determinação do poder calorífico foi inconclusiva, uma vez que apenas o resultado para a amostra 1 foi obtido. Os resultados para a análise de MEV comprova o surgimento das fendas de retração e a deterioração da estrutura da molecular, principalmente na amostra 3, possivelmente explicada pela elevada taxa de aquecimento.

Palavras-chave: Carvão vegetal, uso doméstico, carbono fixo.

Charcoal analysis for domestic use

Abstract: In Brazil, charcoal is an important input for the steel industry, while in underdeveloped countries it's a mainly access to energy, used for cooking food. Although charcoal plays an important role, the means of production are still quite rudimentary, characterized by low performance and considerable energy waste. Thus, this article aims to evaluate the qualitative characteristics in charcoal samples for domestic use from simple processes, which do not employ control technologies. Immediate analysis, determination of calorific value and analysis by scanning electron microscopy (SEM) were performed. The result of the immediate analysis showed average values between 4.54 and 4.98% for moisture, 70.43 and 71.87% for the fixed carbon content, 25.61 and 28.40% for the volatile materials content and 1.17 and 2.52% for the ash content. Such values are consistent with the literature. However, they do not meet the requirements established by the Premium Seal/SP. The calorific value determination was inconclusive, since only the result for sample 1 was obtained. The results for the SEM analysis prove the emergence of the retraction

cracks and the deterioration of the molecular structure, mainly in sample 3, possibly explained by the high heating rate.

Keywords: Charcoal, household use, fixed carbon.

1. Introdução

O carvão vegetal é uma das fontes energéticas mais antigas já utilizada pelo homem. No Brasil, em 2018, representou 8% da matriz energética do país, que o emprega principalmente como agente termo redutor na indústria siderúrgica (ALBUQUERQUE, 2019).

Embora o uso do carvão vegetal no Brasil seja majoritariamente industrial, os demais países produtores se utilizam deste insumo para satisfazer as necessidades energéticas básicas de sua população, como cocção de alimentos e fonte de aquecimento.

O maior consumo de carvão vegetal para uso doméstico está estabelecido no continente africano, responsável pelo maior volume de produção e uso per capta de carvão vegetal com 62% da produção mundial, sendo 32 milhões de toneladas em 2015 (FAO, 2017). Contudo, a produção de carvão vegetal em países africanos é caracterizada pela destruição das florestas e meios precários de produção (MUEIA, 2017).

Para atender as necessidades básicas da população africana de maneira sustentável, é necessário que haja o desenvolvimento da cadeia do carvão vegetal no continente. Para isso, são requeridos processos que atinjam maiores percentuais em rendimentos com menor emissão gasosa e melhor aproveitamento da madeira (UNEP, 2019).

O difícil acesso a fontes de energia, principalmente para cocção de alimentos, resulta em precárias condições de vida que podem ocasionar problemas de saúde pública. O carvão vegetal ainda será uma das principais fontes energéticas para a África nos próximos anos. Assim, adotar meios de produção mais eficientes é uma forma de assegurar melhores condições à saúde da população, bem como ao meio ambiente (ZANDONAI, 2019).

Ainda, a cadeia de produção de carvão vegetal sustentável pode trazer benefícios competitivos à indústria siderúrgica brasileira, de forma a “aumentar a eficiência econômica e qualidade ambiental do processo” (CGEE, 2015, p.7).

Alcançar um melhor rendimento gravimétrico em carvão vegetal implica a melhor conversão da madeira e menor emissão dos gases de efeito estufa. O melhor aproveitamento da madeira reduz a necessidade de matéria prima para a produção de uma mesma quantidade de produto, fato concomitante à boa gestão de recursos energéticos renováveis (CGEE, 2015).

Os fornos utilizados para a produção de carvão vegetal exercem grande influência no rendimento gravimétrico e eficiência energética do processo. Sistemas que não se utilizam de meios de controle e melhorias tecnológicas podem interferir na qualidade do produto final, acarretando piores resultados. Contudo, a maior parte da produção mundial é tida por processos rudimentares com pouca, ou nenhuma, tecnologia de controle.

Dessa forma, este artigo objetiva avaliar a qualidade do carvão vegetal de uso doméstico obtido em fornos circulares de alvenaria que não possuem tecnologias de controle. Mapear a qualidade dos produtos obtidos nos permite caracterizar a eficiência de tais processos.

2. Revisão Bibliográfica

O carvão vegetal é obtido por meio da degradação térmica da madeira durante o processo de carbonização, que tem por objetivo elevar o conteúdo energético do produto com o aumento na concentração de carbono fixo e redução nos materiais voláteis.

2.1. Propriedades da madeira

A qualidade e desempenho do carvão vegetal são diretamente influenciados pelas propriedades da madeira de origem (PEREIRA, 2012). Para a produção de carvão vegetal com alto rendimento e elevada qualidade deve-se procurar espécies analisando características como sua constituição química, poder calorífico e teor de umidade (OLIVEIRA, 2010).

Dentre as propriedades da madeira, a densidade básica é quem exerce maior influência na qualidade de seus derivados, uma vez que está diretamente ligada às demais propriedades (ROSA, 2012; SCREMIN, 2012). Sendo assim, são preferíveis espécies que tenham densidade básica elevada, pois implicam em menos “espaços vazios” na estrutura molecular e elevam o tempo necessário para degradação completa da madeira (ROSA, 2012).

Outro fator relevante durante a produção de carvão vegetal é o teor de lignina. Espécies ricas em lignina possuem maior teor de carbono e são mais estáveis termicamente, de forma a afetar positivamente o rendimento gravimétrico da carbonização (ASSIS et al., 2012).

Espécies vegetais do gênero *Eucalyptus* são as mais empregadas devido ao crescimento rápido, grande plasticidade, ampla distribuição geográfica no território brasileiro e as características genéticas que apresentam (PEREIRA, 2012).

2.2. Processo de carbonização

Além do carvão vegetal, o processo de carbonização gera a liberação de vapor d'água e gases, os quais dividem-se em condensáveis e não condensáveis. Da fração condensável, resultam ainda o licor pirolenhoso e o alcatrão insolúvel (BRITO et al., 2012).

Segundo Brito et al. (2012), o controle adequado das entradas de ar no sistema e a utilização de espécies vegetais de boa qualidade e baixa umidade, são pontos que exercem um papel fundamental na eficiência da carbonização e na quantidade de gases que são emitidos.

Contudo, no que diz respeito às variáveis do processo, o rendimento e a qualidade da produção de carvão vegetal são afetados diretamente por três fatores de maior importância: taxa de aquecimento, tempo de residência, temperatura final de carbonização (SANTOS, 2010; ROSA, 2012; SCREMIM, 2012). Entretanto, a temperatura é a principal responsável pela conversão da madeira em carvão vegetal e define a marcha de carbonização.

O processo de carbonização pode ser dividido em etapas relacionadas ao aumento gradual de temperatura ao longo do tempo. Do trabalho de Rosa (2012) e Scremin (2012), observamos as taxas de temperatura determinantes de cada fase e as características geradas sob a biomassa, descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Fases da conversão da madeira em carvão vegetal

Fase	Temperatura (°C)	Características
I	Abaixo de 200 Fase endotérmica	- Poucas reações importantes - Secagem e início da decomposição térmica
II	200 a 280 Fase endotérmica	- Aumento das reações - Início da liberação dos gases - Importante fase de reações e grande eliminação de gases
III	280 a 380 Fase exotérmica	- Composição de gases: centenas de componentes químicos (alguns recuperáveis) - Formação do carvão vegetal ainda com compostos volatilizáveis em sua estrutura

IV	380 a 500 Fase exotérmica	- Redução da saída de gases - Purificação na composição química do carvão vegetal com a eliminação dos voláteis restantes - Aumento no teor de carbono fixo - Degradação do carvão vegetal
V	Acima de 500	- Término da carbonização e início da gaseificação do carvão.

Fonte: Adaptado de Rosa (2012) e Scremin (2012)

As características observadas em cada fase são devidas à decomposição térmica dos principais constituintes da madeira: as celuloses, hemiceluloses e lignina. Isso porque estes componentes reagem de diferentes formas ao processo de aquecimento e possuem uma cinética de decomposição térmica específica, onde cada um deles decompõe-se mais intensamente em determinadas faixas de temperaturas (SANTOS, 2010).

Dessa forma, o controle do processo de produção é fundamental para que se tenha uma carbonização adequada e um produto final de qualidade.

2.3. Propriedades do carvão vegetal

O carvão vegetal é composto basicamente por três frações distintas: carbono fixo, materiais voláteis e cinzas. A composição de cada fração é reflexo das características da madeira de origem e seus percentuais são determinados diretamente pela ação da temperatura e pelo processo de carbonização.

O teor de carbono fixo consiste na quantidade de carbono presente no carvão após o processo de carbonização. Está diretamente ligado com a temperatura de carbonização, sendo que o aumento da temperatura proporciona o aumento do teor de carbono fixo até que seja atingido o ponto máximo de conversão, quando o mesmo começa a diminuir (SOARES, 2011).

Os materiais voláteis são os componentes presentes na madeira que podem ser removidos por efeito da temperatura em atmosfera não oxidante ou inerte (KURAUCHI, 2014). No carvão vegetal, corresponde à matéria volátil residual composta principalmente de hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono (SANTOS, 2010).

As cinzas representam a mistura de todos os componentes restantes após a combustão completa do carvão, geralmente resíduos de óxido de minerais. Sua presença dá-se pela composição química da madeira e possíveis contaminantes (SANTOS, 2010; KURAUCHI, 2014).

As propriedades químicas do carvão vegetal podem ser investigadas por meio da análise imediata que consiste em determinar a porcentagem de cada uma dessas frações, bem como a umidade presente no mesmo (OLIVEIRA, 2010; SANTOS, 2010).

O rendimento gravimétrico é a relação percentual de peso entre o produto (carvão) e a matéria prima (madeira). Apresenta correlação positiva com o teor de lignina total e teor de extrativos, logo, com teor de carbono fixo também. É inversamente proporcional ao aumento da temperatura e tempo de residência no processo que, de maneira geral, provocam a perda de massa da fração sólida (BARCELLOS, 2007; SOARES, 2011).

O rendimento gravimétrico em carvão, em média, é de 30%, contendo 75% de carbono fixo (SANTOS, 2010). São obtidos maiores valores de rendimento quando mantida a temperatura máxima média na faixa dos 400 ºC e lenta taxa de aquecimento (SCREMIN, 2012).

O teor de materiais voláteis presente no produto final exerce influência direta no poder calorífico do carvão vegetal, pois o hidrogênio contido nos mesmos possui poder calorífico

de 34 cal/kg, enquanto o do carbono fixo é de 7,9 cal/kg. Como o aumento da temperatura de carbonização provoca a redução dos materiais voláteis no carvão, consequentemente do hidrogênio presente em sua estrutura, ocorre uma redução no poder calorífico e na facilidade de ignição (ROSA, 2012). Porém, carvões com baixo teor de materiais voláteis queimam de forma mais limpa, sem geração de fumaça (KURAUCHI, 2014).

A qualidade do carvão vegetal destinado ao uso doméstico é determinada também por altos valores de poder calorífico e teor de carbono fixo, enquanto que o teor de materiais voláteis, cinzas e umidade deve ser o menor possível (ROSA, 2012). Essas características influenciam na posterior queima do carvão vegetal em relação à quantidade de energia a ser liberada e a emissão ou não de fumaça.

Como não existe uma norma nacional estabelecida para determinar a qualidade do carvão vegetal, o Estado de São Paulo criou em 2003 o Selo Premium atribuído para Carvão Vegetal Premium com o objetivo de padronizar características de qualidade, segundo Oliveira et al. (2015). Para receber este selo, o carvão vegetal deve ser oriundo de madeira de florestas plantadas, submetida ao processo de carbonização em fornos especialmente construídos para este fim, e apresentar valores abaixo de determinados parâmetros.

São considerados valores satisfatórios para um carvão vegetal de boa qualidade aqueles que se encontram abaixo de 5,00% para umidade, menores que 23,50% e 1,50% para o teor de materiais voláteis e o teor de cinzas, respectivamente, e maiores que 75,00% para o teor de carbono fixo (SÃO PAULO, 2003).

3. Metodologia

As amostras de carvão vegetal para uso doméstico foram adquiridas junto à uma carvoaria situada na região dos Campos Gerais, estado do Paraná, provenientes de três diferentes carbonizações.

As carbonizações ocorreram em fornos circulares de alvenaria utilizando madeira de reflorestamento da espécie *Eucalyptus dunnii*, com idade entre 7 a 10 anos, diâmetro de 6 a 12 centímetros e aproximadamente 1 metro de comprimento. De cada carbonização, foram coletados aleatoriamente 1200 gramas de carvão vegetal que, posteriormente, foram triturados e homogeneizados para a realização dos experimentos.

Para a caracterização das propriedades do carvão vegetal foram seguidas as diretrizes previstas nas normas NBR 8112 – Carvão vegetal: Análise Imediata e NBR 8633 – Carvão Vegetal: Determinação do poder calorífico (bomba calorimétrica adiabática IKA, modelo C-200). As análises foram realizadas em triplicata.

Ainda, foi realizada a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) que permite a visualização ampliada e tridimensional da estrutura molecular da amostra. Para tanto, cerca de 100 gramas de carvão vegetal foram levadas para estufa a 105°C por aproximadamente uma hora, e então acondicionados em três suportes de alumínio (*stubs*) fixados com cola de carbono. A visualização das amostras foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (TESCAN, modelo VEGA3 LMU), de emissão termiônica com filamento de tungstênio. A etapa de metalização com ouro não foi necessária neste procedimento, uma vez que são amostras de material condutor.

4. Resultados e Discussão

O processo de carbonização ocorreu em fornos circulares de alvenaria com nenhum tipo de tecnologia de controle empregado. O acompanhamento da produção foi realizado segundo métodos empíricos, como a observação da coloração da fumaça e aferição da temperatura através do toque nas paredes externas dos fornos. O controle da carbonização foi tido por meio da manipulação manual das entradas e saídas de ar do sistema.

Foram coletadas amostras de três diferentes carbonizações a fim de se analisar as características particulares de cada batelada e verificar a regularidade da produção. Com a análise imediata, foram determinados o teor de umidade, carbono fixo, materiais voláteis e cinzas de cada amostra, parâmetros que determinam a qualidade do carvão vegetal.

4.1. Análise imediata

Os testes foram realizados em triplicata e os resultados analisados por desvio padrão. A média dos resultados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Média dos resultados obtidos a partir da análise imediata para as três

	Teor de Umidade (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Teor de Materiais Voláteis (%)	Teor de Cinzas (%)
Amostra 1	4,54	71,87	25,61	2,52
Amostra 2	4,83	70,43	28,40	1,17
Amostra 3	4,98	71,17	26,63	2,20

Fonte: Autoria própria

Em média, os resultados obtidos para a análise imediata indicam a homogeneidade das amostras. Contudo, a amostra 2 apresentou maior disparidade, caracterizando-se pela maior emissão de materiais voláteis durante o experimento. Este fato proporcionou a redução no teor de carbono fixo e no teor de cinzas, como esperado e previsto na literatura.

A variação nos resultados obtidos é consideravelmente pequena, o que nos permite supor semelhança entre os três processos de carbonização analisados. Este fato sugere uma produção regular capaz de manter um produto padrão para comercialização.

Os valores médios de umidade encontrados mantiveram-se entre 4,54 e 4,98 % e se apresentam adequados para o uso doméstico, pois atendem a exigência do Selo Premium que requer umidade abaixo de 5% (SÃO PAULO, 2003). Fazem concordância também com Rosa (2012) e Oliveira et. al. (2015) que encontraram valores para umidade entre 4,05 a 5,99% e 4,02 e 7,7%, respectivamente.

A umidade possui uma relação inversa com a qualidade do carvão vegetal devido sua interferência no rendimento em energia. Quanto maior a quantidade de água presente no material, maior será o gasto de energia necessário para liberá-la, o que acarreta a diminuição do poder calorífico do carvão.

Os índices obtidos para o teor de carbono fixo permaneceram entre 70,43 e 71,87%, enquanto que para o teor de materiais voláteis permaneceram entre 25,61 e 28,40% e teor de cinzas entre 1,17 e 2,52%. O Selo Premium destaca que o teor de carbono fixo deve ser superior a 75%; teor de materiais voláteis e o teor de cinzas devem ser inferiores a 23,5% e 1,5%, respectivamente (São Paulo, 2003). Embora abaixo dos valores estipulados como critério de qualidade para o carvão vegetal de uso doméstico, os valores médios aqui relatados são considerados satisfatórios.

Em estudos semelhantes, Brand et al. (2015) apresentam resultados que sugerem uma qualidade inferior, sendo 66,95% de carbono fixo, 30,18% de teor de voláteis e 2,87% de teor de cinza. Entretanto, Rosa (2012) apresentou qualidade superior com teor de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas entre 75 e 83%; 15 e 23%; e 0,68 e 1,65%, respectivamente.

Para a utilização energética do carvão vegetal é conveniente que o material possua um elevado teor de carbono fixo, e baixos teores de materiais voláteis e cinzas, uma vez que essas variáveis apresentam significativas correlações com o poder calorífico do carvão.

Combustíveis com altos teores de carbono fixo tendem a queimar mais lentamente, com uma chama mais estável até a queima total (NEVES et al., 2011). Altos teores de materiais

voláteis acarretam a produção de fumaça durante a queima, além da menor eficiência energética.

4.2. Determinação do poder calorífico

Devido a complicações técnicas e condições laboratoriais não ideais durante a realização do experimento, a determinação do poder calorífico das amostras 2 e 3 foi comprometida, sendo possível obter apenas o resultado para amostra 1.

Contudo, considerando a homogeneidade das amostras estipulada nos resultados acima descritos, optou-se por adotar este único resultado para determinar o poder calorífico neste estudo, assumindo assim, a possível distorção com os dados reais.

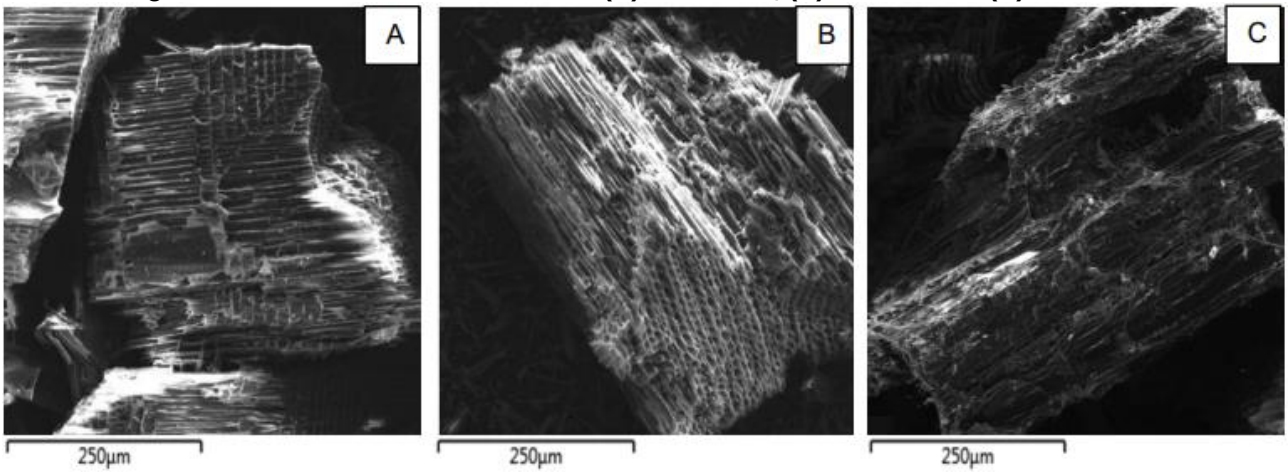
O resultado encontrado durante a determinação do poder calorífico da amostra 1 foi de 8027,1 kcal kg-1. Em estudos similares, Oliveira et al. (2015) encontrou valores médios para o poder calorífico de 6685,7 kcal kg-1, enquanto que Rosa (2012) encontrou valores entre 7436,5 e 7827,5 kcal kg-1.

Ao analisar o poder calorífico de madeiras da espécie eucalipto, Soares (2011) encontrou valores variando entre 4385,0 e 4547,1 kcal kg-1, enquanto que para suas carbonizações os valores foram entre 6684,3 e 7501,1 kcal kg-1. Comparando com o valor obtido neste trabalho para amostras de carvão vegetal e com os trabalhos dos demais autores aqui citados, comprova-se o aumento desta propriedade após a carbonização.

4.3. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens microscópicas obtidas com a análise de MEV são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Resultado da análise MEV: (A) amostra 1, (B) amostra 2 e (C) amostra 3.



Fonte: Autoria própria

Analisando a Figura 1, se percebe uma grande semelhança na estrutura das três amostras em relação ao surgimento dos poros, chamados de "fendas de retração". Estes poros são de fácil observação, principalmente na amostra 2, pois a posição em que se encontra favorece a imagem da seção transversal.

A carbonização de biomassas provoca uma modificação de estrutura e proporciona o surgimento de poros no material devido à eliminação dos materiais voláteis presentes em sua composição (COSTA et al., 2015).

Comparando a microestrutura de amostras de madeira da espécie eucalipto e sua carbonização a 450°C em seu estudo, Pereira et al. (2016) identificaram o alongamento dos poros no sentido radial, onde passaram de circulares na madeira para ovais no carvão. Observaram também o surgimento de grandes cavidades ao longo da seção transversal da

amostra, conhecidas como honey comb ou "fendas de retração". Essas cavidades provocam alterações na parede celular das amostras que apresentaram redução em espessura devido a deterioração das fibras durante o processo de carbonização.

De acordo com a figura 7C, a amostra 3 apresenta a maior degradação em sua parede celular que as demais. Segundo Siebeneichler (2011), a microestrutura do carvão vegetal é afetada pela temperatura final de carbonização e taxa de aquecimento (TA), sendo que o aumento na TA implica na ruptura das fibras da parede celular de forma mais intensa. Assim, considerando que as três carbonizações tiveram iguais temperaturas finais, pode-se presumir que o processo originário da amostra três ocorreu a uma maior taxa de aquecimento que os demais.

5. Conclusão

As diferentes carbonizações apresentaram um carvão vegetal com características semelhantes. As técnicas da análise imediata e MEV apresentaram resultados com variação não significativa entre as três amostras, sugerindo um padrão no método de produção empregado.

O baixo teor de umidade encontrado representa um produto de boa qualidade energética, pois não se faz necessário o gasto extra de tempo e calor para secagem do material. Implica também no bom manuseio do produto em relação aos cuidados com empacotamento e armazenamento até que alcance o cliente final.

O teor de materiais voláteis acima do estabelecido pelo Selo Premium resulta na possível liberação da fumaça durante a queima, enquanto que o menor teor de carbono fixo tende a diminuir o poder calorífico do carvão. Contudo, mesmo que os resultados não tenham atingido os parâmetros de qualidade exigidos pelo Selo Premium, estão próximos aos valores por ele propostos e podem ser considerados satisfatórios quando observada as condições precárias de carbonização.

Dos resultados obtidos com a análise de MEV constata-se a formação das fendas de retração nas três amostras com a maior deterioração da parede celular da amostra 3, sugerindo a ocorrência de uma elevada taxa de aquecimento durante o processo de carbonização.

Por fim, as análises aqui realizadas comprovam a sensibilidade do produto final em relação à temperatura e taxa de aquecimento a que é submetido. Logo, conclui-se a importância do controle eficaz do processo de produção.

Referências

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8112:** Carvão vegetal: análise química imediata. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8633:** Carvão Vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1983.

ALBUQUERQUE, J. S. DE. **Produção de carvão vegetal: desafios e oportunidades – INFLOR – Sistemas para Gestão Florestal, Agrícola, Vitória, ES, Brasil**. Disponível em: <https://www.inflor.com.br/producao-de-carvao-vegetal-desafios-e-oportunidades/>. Acesso em: 10 out. 2020.

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

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo.** Dissertação (Mestrado) - Universidade

Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Viçosa, 2007.

BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, A. de; 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, out/2015.

BRITO, J. O. **Produção de carvão vegetal no Brasil e o atual estágio das tecnologias para aproveitamento dos gases do processo.** Universidade de São Paulo, 2012.

CGEE. **Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil**. Brasília: [s.n.].

COSTA, P. D. de; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para a adsorção de azul de metileno. **Revista Virtual de Química.** V. 7, n. 4, p. 1272-1285, mar/2015.

FAO. **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação: Região da América Latina e Caribe é a segunda maior produtora de carvão do mundo | FAO no Brasil | Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/853969/>. Acesso em: 10 out. 2020.

KURAUCHI, M. H. N. **Uma abordagem de ensaio de resistência mecânica de carvão vegetal.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2014.

MUEIA, M. **Produção de carvão vegetal acelera destruição das florestas moçambicanas | Moçambique | DW | 27.04.2017**. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-002/produção-de-carvão-vegetal-acelera-destruição-das-florestas-moçambicanas/a-38613101>. Acesso em: 10 out. 2020.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, out/2011.

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, p. 102-111, set/2015.

PEREIRA, B. L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, L. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; MAGALHÃES, M. A. de. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de Eucalyptus. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 545-557, jun/2016.

ROSA, R. A. **Qualidade do carvão vegetal, para uso doméstico, comercializado em três municípios do estado do Espírito Santo.** Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de engenharia florestal do centro de ciências agrárias, 2010.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Lavras, 2010.

SÃO PAULO. Resolução n° 10 SAA, de 11 de julho de 2003. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP, 11 jul. 2003. Disponível em: < http://www.codeagro.sp.gov.br/arquivos/selo/SAA%2040%20Carvao%20Vegetal%202015.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

SCREMIN, A. L. T. **Estudo energético e fisicoquímico do carvão vegetal de Eucalyptus dunnii Maiden**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. Guarapuava, 2012.

SIEBENEICHLER, E. A.; **Características químicas e físicas de carvão de eucalipto (Eucalyptus cloeziana).** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Viçosa, 2011.

SOARES, V. C. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis em diferentes idades.** Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia da Madeira. Lavras, 2011.

UNEP. Review of Woodfuel Biomass Production and Utilization in Africa. **Review of Woodfuel Biomass Production and Utilization in Africa**, 2019.

ZANDONAI, R. **África precisa de ação urgente para tratar biomassa como fonte de energia, diz estudo do PNUMA | UNEP - UN Environment Programme**. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/pt-br/noticias-e-reportagens/press-release/africa-precisa-de-acao-urgente-para-tratar-biomassa-como-fonte>. Acesso em: 10 out. 2020.