

ANÁLISE DA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA ESPÉCIE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* E APROVEITAMENTO DA FASE ORGÂNICA CONDENSÁVEL

M. A. VERZOLA¹, F. T. M. SILVA² e C. H. ATAÍDE³

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Discente de Engenharia Química

² Universidade Federal de Uberlândia, Doutorando de Engenharia Química

³ Universidade Federal de Uberlândia, Docente da Faculdade de Engenharia Química

E-mail para contato: chataide@ufu.br

RESUMO – A produção de carvão que consiste em aumentar o teor de carbono da madeira através de processos físicos e químicos é uma atividade vista como grande poluidora do meio ambiente. A oferta de biomassa e sua utilização têm sido objeto de investigação, com o objetivo de tornar a biomassa de madeira viável economicamente e criar também melhores condições de trabalho para o setor. Consequentemente, o maior desafio do setor de carbonização consiste em aumentar o rendimento gravimétrico de carvão e ainda produzir bio-óleo e gás que podem substituir o combustível fóssil e gerar energia para o próprio processo ou ser vendido para indústrias em geral. No entanto, procurar alternativas que beneficiem a indústria e principalmente o meio ambiente são metas permanentes do segmento de queima de madeira para produzir carvão vegetal e ainda conseguir aproveitar os gases desse processo e gerar o bio-óleo como fonte de energia limpa. Nesse sentido, o presente estudo foi empreendido em escala laboratorial, a partir de um forno tipo mufla e teve como objetivo coletar os efluentes gasosos gerados no processo de carbonização da madeira vegetal, além de produzir um carvão vegetal de qualidade.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética decorrente nos últimos anos, incorporada à preocupação ambiental e à necessidade de preservação dos fragmentos florestais restantes, exige que qualquer cadeia produtiva que utiliza recursos naturais busque uma maior eficiência durante a exploração ou produção, para garantir o suprimento energético aliado à manutenção da qualidade dos recursos naturais. Para se adequar a essa realidade têm-se buscado, na cadeia produtiva de carvão vegetal, a modernização e a melhoria da tecnologia empregada na conservação da madeira em carvão, como também substituir a matéria-prima oriunda da mata nativa por madeira do gênero *Eucalyptus* obtida em florestas plantadas, alcançando, assim, maior qualidade e homogeneidade do produto (Santos; Hatakeyama 2012).

O processo de carbonização consiste em submeter a madeira a elevadas temperaturas (~400°C) em ambiente com atmosfera controlada, isenta de oxigênio, mas que permita a saída de gases e vapores. É importante evidenciar que cerca de 30% de massa alimentada ao

processo se converte em carvão vegetal, e os outros 70% se transformam em gases e vapores, tornando interessante estudar a recuperação desse subproduto que, dependendo das características, pode apresentar um alto valor agregado. Entre os subprodutos emitidos para a atmosfera e, portanto, não reaproveitado, é o líquido pirolenhoso ou bio-óleo.

Outro fator importante é a qualidade do carvão vegetal, um dos principais aspectos para sua aceitação no mercado. Os fatores que mais influenciam em sua qualidade são as características físicas da madeira (teor de lignina, umidade, densidade), temperatura e o protocolo utilizado no processo de carbonização (Souza *et al.*, 2016).

Atualmente, estudos têm concentrado esforços para desenvolver metodologias capazes de atuar e controlar as três etapas do processo de carbonização da madeira (secagem, pirólise e resfriamento), melhorando os índices de qualidade da madeira. Grande parte da produção brasileira de carvão ainda ocorre em fornos com baixo rendimento gravimétrico e com emissões de gases prejudiciais para o meio ambiente (Assis *et al.*, 2008). Com a finalidade de melhorar esse cenário, este trabalho objetiva avaliar a qualidade do carvão vegetal produzido, através de análises químicas imediatas, além de priorizar, coletar e quantificar a fase orgânica condensável, ou seja, os efluentes gasosos gerados no processo de carbonização, tornando esse processo mais eficiente do ponto de vista tecnológico, econômico e ambiental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade de carbonização da madeira corresponde a um forno elétrico tipo mufla. No interior do forno há um cesto cilíndrico giratório perfurado, no qual a madeira alimentada sofre o processo de carbonização por meio do aquecimento pelas resistências elétricas. Os gases provenientes do processo percorrem as tubulações de inox passando por uma serpentina que está imersa dentro de uma caixa de água para execução da troca térmica e obtenção do condensado, denominado de bio-óleo. Os gases não condensáveis são queimados em um queimador – Flare. A unidade experimental pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 – Unidade piloto do processo de carbonização da madeira vegetal.



2.1 Biomassa Utilizada

A espécie utilizada no processo de carbonização foi a *Eucalyptus Urograndis*, híbrido desenvolvido no Brasil, através do cruzamento do *E. Grandis* x *E. Urophylla*. A espécie

utilizada foi coletada com idade média de sete anos em uma fazenda perto da região de Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil.

A composição química da madeira é um importante parâmetro quando o objetivo é o uso dessa biomassa como fonte de energia. Para isso, foi realizada uma análise, em triplicata, para a celulose, hemicelulose, lignina e poder calorífico superior da madeira. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1 e posteriormente foram comparados com os da literatura para certificação da possibilidade de uso da madeira analisada.

Tabela 1 – Resultados obtidos para a análise química da madeira (%).

Teste	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Kcal/kg
1	39,78	30,45	31,55	4.88
2	39,00	30,78	30,90	4.85
3	40,11	30,23	30,78	4.79
Média	39,63	30,49	31,08	4.84
D.Pad	0,57	0,28	0,41	45,49

Andrade *et al.* (2011) encontraram valores de holocelulose - celulose e demais polissacarídeos presentes em madeiras em torno de 66,6% para a madeira do híbrido clonal de *Eucalyptus Urophylla*. Nota-se que os valores observados nesta análise estão um pouco acima da média encontrada. O valor obtido para lignina está dentro da média para as madeiras de Eucalipto, conforme apontaram estudos com o gênero *Eucalyptus*, nos quais se verificaram teores de lignina de 27,5 até 31,7% (Gomide *et al.*, 2005); 27,93 até 32,75% (Trugilho *et al.*, 2001). Estudos com o híbrido de *Eucalyptus Grandis* x *Eucalyptus Urophylla*, foram observados valores de 4.200 a 4.800 kcal/kg de poder calorífico superior (Soares, 2011). Os valores médios observados no presente trabalho apresentam semelhança à faixa analisada por outros autores, embora se tenha reconhecido um valor razoavelmente superior nesta pesquisa.

2.2 Protocolo De Aquecimento

Para execução do experimento, foi realizado um processo de carbonização, no qual a programação se segue na rampa da Tabela 2.

Tabela 2 – Rampa de aquecimento.

Temperatura (°C)	Tempo (min)	Taxa de aquecimento (°C/min)
35	--	--
150	150	0,766
150	60	--
240	150	0,600
240	60	--
325	150	0,566
325	60	---

2.3 Preparação da amostra para Carvão

Após a finalização processo de carbonização e de resfriamento, foi efetuada a preparação da amostra onde o carvão vegetal foi moído e peneirado e utilizou-se aquele que passou na peneira de 40 e ficou recolhido na de 60 mesh. Realizou-se análise química imediata, segundo a Norma NBR 8112/1986. Determinou-se a Densidade relativa aparente – Norma ASTM D 167-73 (adaptada), Densidade relativa verdadeira – Norma ABNT NBR 9165, Porosidade – Norma ASTM D 167-73, Teste de tamboramento – Norma ABNT MB 1375-80 e Poder calorífico superior – Norma ABNT NBR 8633.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados referentes ao experimento, como, biomassa utilizada, massa do carvão obtido e rendimento do carvão e bio-óleo encontram-se na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Dados referentes ao experimento de carbonização.

Biomassa utilizada (kg)	Carvão obtido (kg)	Rendimento do carvão (%)	Bio-óleo coletado (mL)
9,255	2,859	30,89	320

Frederico (2009), a partir de cinco clones de eucalipto aos três anos de idade, reconheceu valores de rendimentos de carvão obtido variando entre 28,36% e 31,60%, indo de acordo com o rendimento obtido no experimento. Por sua vez, o rendimento do bio-óleo coletado foi inferior ao esperado, sendo que este representa cerca de 35% dos produtos finais da carbonização. É interessante ressaltar que o processo de resfriamento dos gases não contou com nenhum método artificial, por exemplo, um sistema de refrigeração da água.

A seguir, na Tabela 4, são apresentados os resultados obtidos para as análises do teor de umidade (TU), teor de cinzas (TCZ), teor de matérias voláteis (TMV), teor de carbono fixo (TCF), densidade relativa aparente (DRA), poder calorífico superior (PCS), densidade relativa verdadeira (DRV), tamboramento (T) e porosidade (P).

Tabela 4 – Resultados da análise química imediata do carvão vegetal produzido.

TU (%)	TCZ (%)	TMV (%)	TCF (%)	DRA (g/cm ³)	DRV	PCS (kcal/kg)	T (%)	P (%)
3,54	1,25	25,68	73,07	0,36	1,31	7,38	9,10	72,39

De acordo com Gomes (2006), o teor de umidade apropriado para o setor siderúrgico deve possuir uma porcentagem menor que 8%, indo de acordo com o valor encontrado. Já as cinzas, além de reduzir o poder calorífico, sua alta concentração causa desgaste no alto-forno. O teor de cinzas deve ter valor inferior a 1%, sendo que a alta presença deste pode indicar possível contaminação com resíduos do solo, o que pode ter acontecido. Por outro lado, o teor de materiais voláteis representa os compostos remanescentes da degradação da madeira e do alcatrão, que não se desprenderam durante o processo de carbonização. Arantes (2009) encontrou porcentagens de materiais voláteis variando entre 26,72% e 27,30% para a madeira do tipo Eucalipto, valor próximo ao encontrado. O carvão vegetal utilizado na siderurgia deve apresentar teores de carbono fixo variando de 75 a 80%, sendo que quanto maior o teor de

carbono fixo, melhor é a eficiência do uso do carvão. Nesse sentido, o valor quantificado neste trabalho encontra-se próximo à faixa para a utilização na siderurgia.

Frederico (2009), trabalhando com clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, encontrou valores de densidade aparente do carvão variando de 0,285 a 0,323 g/cm³, valores inferiores aos obtidos neste trabalho. A densidade relativa verdadeira do carvão se enquadra dentro da faixa (1,30 a 1,42 g/cm³) obtida por Vella et al. (1989). Para fins siderúrgicos, um carvão vegetal de maior densidade é exigido, propriedade que acarreta maior capacidade calorífica por volume. Quanto ao poder calorífico do carvão, Pereira et al. (2000), ao estudarem as características da madeira de cinco espécies de eucalipto, encontraram valores entre 6.626 e 8.088 kcal/kg, conforme com os resultados apresentados.

Já o teste de tomboramento diz a respeito da porcentagem de finos encontrados no carvão vegetal. No alto-forno, a geração de finos diminui a permeabilidade da carga, reduzindo a produtividade e comprometendo a operação adequada. Para experimentos realizados com a madeira do tipo Eucalipto, intervalos entre 8 a 14% são considerados satisfatórios. Por fim, em relação à porosidade, sabe-se que o carvão vegetal é um material bastante poroso, apresentando-se valores variando entre 70-80% de porosidade, intervalo que contém o resultado obtido no experimento.

4. CONCLUSÕES

A biomassa utilizada no processo de carbonização, madeira do gênero *Eucalyptus Urograndis*, apresentou resultados favoráveis para o processo, tanto em rendimento do carvão vegetal obtido, como também na qualidade do carvão gerado. No entanto, o rendimento do bio-óleo gerado foi aquém do que o sistema pode proporcionar, sendo necessário programar diferentes condições de cinética ou até efetuar melhoramentos no sistema de condensação da fumaça e do vapor. Cabe mencionar ainda que os resultados das análises do carvão foram satisfatórios, uma vez que os teores analisados encontram-se perto dos valores esperados.

Tendo em vista que o projeto contará com uma nova estrutura dentro da mufla para uma melhor coleta dos vapores e gases, aumentando-se assim o rendimento da coleta do bio-óleo, novas cinéticas de carbonização serão estudadas a fim de se obter um melhor rendimento gravimétrico, uma melhor qualidade do carvão vegetal produzido e por consequência, um rendimento maior na condensação dos gases gerados.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; QUINHONES, R.; LIMA, J. T. Calibrações por meio da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo para teor de extrativos totais, de lignina total e holocelulose usando espectros obtidos na madeira sólida. *Ambiência*, Guarapuava, v. 7, n. 1, 2011.

- ARANTES, M. D. C. Variação nas características da madeira e do carvão vegetal de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. 2009. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T. Sistema alternativo para carbonização de madeira, Piracicaba, v.36, n.78, 133-140, 2008.
- FREDERICO, P. G. U. Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal. 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- GOMES, M.T.M. Potencialidades de inserção do carvão vegetal em bolsas de mercadorias. Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 129-137, jan./fev. 2005.
- PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; BAGGIO, A. J. Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de grevillea robusta. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. 11 p. (Circular Técnica, 40).
- SANTOS, S. F. O M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos ambiental, econômico, social e cultural. Produção, v.22, n.2 mar./abr., p.309-321, 2012.
- SILVA, L. B. X.; REICHMANN NETO, F.; TOMASELLI, I. Estudo comparativo da produção de biomassa para energia entre 23 espécies florestais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p. 872-878.
- SOARES, V. C. Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades. 108 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- SOUZA, N.D.; AMODEI, J. B.; XAVIER, C. N.; DIAS JÚNIOR, A. F.; CARVALHO, A. M. Estudo de Caso de uma Planta de Carbonização e Qualidade do Carvão Vegetal Visando Uso Siderúrgico. Floresta e Ambiente. Vol. 23 n°.2, abril/junho, 2016.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. Revista Cerne, Lavras, v. 7, n. 2, p. 114-201, jul./dez. 2001.
- VELLA, M. M. C. F.; VALENTE, O. F.; VITAL, B. R.; LELLES, J. G. Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido. IPEF, n.41/42, p.64-76, jan. /dez. 1989.