

Produção de carvão vegetal com resíduos madeireiros da Amazônia

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades do carvão vegetal de *Hymenolobium petraem* Ducke (Angelim-pedra) produzido em diferentes temperaturas e tempos finais de carbonização. Foram coletados resíduos de madeira em uma serraria no município de Paragominas, Pará. O processo de carbonização foi realizado em forno mufla utilizando as temperaturas finais de 500 °C e 600 °C e tempo final no patamar de carbonização de 30 min e 60 min. As propriedades analisadas foram: rendimento gravimétrico, análise química imediata e poder calorífico superior. O rendimento gravimétrico do carvão vegetal sofreu influência direta da temperatura de carbonização. O teor de carbono fixo e o poder calorífico superior do carvão vegetal aumentaram com a elevação da temperatura de carbonização. O teor de cinzas não sofreu influência das carbonizações aplicadas, mantendo-se com valores desejáveis para utilização do carvão em diversos usos.

Palavras-chave: Bioenergia, Qualidade, Resíduo madeireiro.

Production of charcoal with residues timber from Amazônia

Abstract: The objective of this work was to evaluate the properties of the charcoal of *Hymenolobium petraem* Ducke (Angelim-pedra) produced in different temperatures and final time carbonization. Wood residues were collected in a sawmill in the municipality of Paragominas, Pará. The carbonization process was carried out in a muffle oven using the final temperatures of 500°C e 600°C and final time at the carbonization level 30 minutes and 60 minutes. The properties analyzed were: gravimetric yield, immediate chemical analysis and superior calorific power. The gravimetric yield of charcoal has undergone direct influence of the carbonization temperature. The fixed carbon content and the superior calorific power of charcoal increased with the elevation of the carbonization temperature. The ash content was not influenced by the carbonizations applied, keeping with desirable values for the use of coal in many uses.

Keywords: Bioenergy, Quality, Residue timber.

1. INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é um produto energético da madeira, obtido pelo processo de pirólise lenta (carbonização), em elevadas temperatura e na ausência ou presença controlada de oxigênio, sendo um biocombustível sólido com maior concentração de carbono (Sangsuk et al. 2018).

A espécie *Hymenolobium petraeum* Ducke, popularmente conhecida como angelim-pedra, pertencente à família Leguminosae, é uma espécie madeireira nativa da Amazônia (Furtado et al., 2015). Sua madeira possui o cerne de tom marrom-avermelhado-claro e alburno marrom pálido, bastante utilizada na indústria de móveis e construção civil. Apresenta densidade da madeira média, trabalhabilidade regular, recebe bom acabamento

(IPT, 2013).

Atualmente, as pesquisas conduzidas no Brasil estão concentradas na investigação das propriedades do carvão vegetal da espécie *Eucalyptus spp.* Em contrapartida, poucos são os estudos focados na análise do potencial energético das espécies tropicais e conseqüentemente, do carvão vegetal produzido a partir do aproveitamento dos resíduos.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi analisar as características físicas, químicas e energéticas do carvão vegetal produzido a partir dos resíduos do desdobramento da tora de madeira da espécie *Hymenolobium petraeum* Ducke, a partir de diferentes tempos e temperaturas de carbonização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta do material foi realizada em uma indústria madeireira (serraria), localizada na BR-010, no município de Paragominas, Pará. Entre as coordenadas geográficas 3°30' e 3°45' de latitude sul e 48°30' e 48°45' de longitude a oeste de Greenwich.

Foram coletados resíduos de madeira da espécie *Hymenolobium petraem* Ducke (Angelim-pedra). Para efeito de comprovação científica da espécie, foi realizada a identificação anatômica da madeira por uma especialista na área. Em seguida, os resíduos foram enviados ao Laboratório de Tecnologia e Produtos Florestais (LTPF) da Universidade Federal Rural da Amazônia, para a produção e determinação das propriedades física, química e energética do carvão vegetal.

Para a produção de carvão vegetal, foram preparados 20 corpos de provas com dimensão de 2 cm x 3 cm x 5 cm (largura x espessura x comprimento), utilizando 5 corpos de provas para cada carbonização. Posteriormente, os corpos de prova foram identificados, secos em estufa a 105 °C, em seguida envolvidos com papel alumínio e colocados em forno mufla, seguindo a metodologia utilizada por Brand et al (2013).

Os parâmetros de carbonização utilizados foram, taxa de aquecimento de 1,67 °C/min, as temperaturas finais de carbonização de 500 °C e 600 °C, e os tempos no patamar final de carbonização de 30 min e 60 mi.

A determinação do rendimento gravimétrico do carvão (RGC) foi realizada segundo a metodologia de Oliveira et. al (2010). A análise química imediata do carvão vegetal foi determinada de acordo com a Norma D1762/84 da *American Society for Testing and Material* (ASTM, 2001). O poder calorífico superior do carvão vegetal foi mensurado de acordo com a Norma D5865-04 da *American Society for Testing and Material* (ASTM, 2013).

O experimento foi realizado no Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2x2 (temperatura x tempo). Para verificar o efeito da temperatura e tempo sobre os parâmetros avaliados, os dados foram submetidos ao teste F por meio da análise de variância (ANOVA), para isto inicialmente aplicou-se o teste de Levene para testar a homogeneidade de variância e o teste de Shapiro-Wilk para testar a normalidade dos dados. Quando identificadas diferenças significativas na ANOVA, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os cálculos estatísticos foram realizados com o auxílio do “software” SPSS, versão 20.

3. RESULTADOS

Na Tabela 1, encontram-se os valores médios para rendimento gravimétrico do carvão (RGC), teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas (TCZ), teor de carbono fixo (TCF) e poder calorífico superior (PCS), em função de cada temperatura e tempo no patamar final de carbonização.

Observa-se que houve diminuição no rendimento gravimétrico do carvão em função do aumento da temperatura de carbonização (Tabela 1). Este fator é de grande relevância visto que no processo de pirólise ocorre a degradação térmica da madeira em diferentes temperaturas.

O teor de materiais voláteis encontrados para a temperatura de 600 °C foram cerca de 5% menores quando comparados à carbonização de 500 °C (Tabela 1). Constata-se que com o aumento da temperatura maior será o consumo da massa de carvão que, conseqüentemente, acarretará a liberação de mais gases durante o processo de pirólise.

Para a análise do teor de cinzas do carvão vegetal, os tratamentos aplicados não diferiram estatisticamente (Tabela 1). Acredita-se que este resultado pode ser intrínseco à espécie, pois a composição de cinzas do carvão vegetal depende diretamente da composição mineral do material que lhe deu origem.

Com base nos resultados do teor de carbono fixo verificou-se que houve diferença estatística entre os tratamentos aplicados, ou seja, teve um aumento no teor de carbono fixo em função do aumento da temperatura de carbonização, entretanto, não foi observado diferença quanto ao tempo final de estabilização (Tabela 1).

A análise do poder calorífico superior (Kcal kg^{-1}) mostrou ter ocorrido diferença significativa entre as temperaturas finais de carbonizações (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios do rendimento gravimétrico do carvão (RGC), teor de materiais voláteis (TMV), teor

de cinzas (TCZ), teor de carbono fixo (TCF), poder calorífico superior (PCS).

Carvão vegetal de Angelim-pedra	Carbonização			
	500 °C 30 min	500 °C 60 min	600 °C 30 min	600 °C 60 min
RGC (%)	34,19 a ± 0,00	33,78 a ± 0,00	31,22 b ± 0,00	30,50 b ± 0,01
TMV (%)	20,77 a ± 1,13	20,61 a ± 0,15	15,99 b ± 0,11	15,89 b ± 0,22
TCZ (%)	0,81 a ± 0,01	0,88 a ± 0,01	0,86 a ± 0,04	0,78 a ± 0,00
TCF (%)	78,42 b ± 1,14	78,52 b ± 0,17	83,15 a ± 0,15	83,33 a ± 0,22
PCS (Kcal.g ⁻¹)	7.165 b ± 0,02	7.262 b ± 0,02	7.457 a ± 0,00	7.448 a ± 0,05

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. DISCUSSÃO

A redução no rendimento gravimétrico do carvão, observada na temperatura de 600 °C ocorreu devido à perda de massa resultante da degradação térmica dos constituintes do lenho a partir do incremento da temperatura final de carbonização. Em estudo realizado por Arruda (2017) em espécie de *Eucalyptus grandis* foi encontrado um decréscimo do rendimento em carvão com o aumento da temperatura.

O teor de materiais voláteis diminuiu com o aumento do tempo e temperatura. A partir desse aumento o consumo da massa de carvão será maior e, conseqüentemente, ocorrerá liberação de mais gases durante a queima. E ao ser encontrado em valores elevados, influência diretamente na eficiência do carvão vegetal durante sua utilização.

Resultados semelhantes foram encontrados por Soares et al. (2015), que obteve valores médios de 18,80% a 22,82%, para o carvão vegetal produzido partir do clone *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*.

A análise do conteúdo de cinzas presentes no carvão vegetal é necessária para a avaliação da sua eficiência energética, uma vez que indica a quantidade de materiais inorgânicos e estes, por sua vez, por não participarem do processo de combustão acabam influenciando de maneira negativa, principalmente, no poder calorífico.

O valor médio encontrado para a espécie neste estudo, está próximo dos resultados

obtidos por Juízo et al. (2017), ao avaliarem as propriedades do carvão vegetal de resíduo de nove espécies de Eucaliptos, apresentando valores de 0,35 a 0,58% de teor de cinzas.

Verifica-se que com o aumento da temperatura final de carbonização ocorreu um aumento no teor de carbono fixo (Tabela 1). O carvão produzido a 600 °C apresentou carbono fixo (83,33%), sendo este resultado satisfatório, uma vez que os teores mais elevados dessa propriedade são recomendados, porque o combustível queimará mais lentamente, residindo por um maior período no aparelho destinado a queima. Um elevado teor de carbono fixo indica que os materiais voláteis e cinzas estão presentes em baixas quantidades (Souza, 2018).

No que concerne ao poder calorífico superior do carvão vegetal, podemos observar que o aumento de temperatura ocasionou o aumento do poder calorífico (Tabela 1). No uso energético do carvão vegetal a quantidade de energia calorífica liberada pelo material é a informação chave para ajustar a quantidade a ser inserida no processo com intuito de atender uma determinada produtividade energética (Brand, 2010).

Ao avaliar carvão vegetal de jatobá (*Hymenea courbaril* L.) produzido em diferentes temperaturas (300 a 900 °C), Trugilho e Silva (2001) atestam que o aumento de temperatura durante o processo de carbonização ocasiona um aumento considerável no poder calorífico superior.

5. CONCLUSÕES

O carvão vegetal de angelim-pedra apresentou resultados satisfatório para ser usado como insumo bioenergético em diversos usos.

A temperatura de carbonização influenciou diretamente no rendimento gravimétrico, materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior do carvão vegetal.

A variação de temperatura e tempo no patamar final de carbonização não influenciou no teor de cinzas do carvão vegetal.

6. REFERÊNCIAS

Arruda EL, Andrade AM, Júnior AFD. Produção e ativação do carvão vegetal de três espécies florestais. Floresta 2017, 47 (3): 323-332.

ASTM. D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. United States, 2001.

ASTM. D5865-13: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. United States, 2013.

Brand MA, Cunha AB, Carvalho AF, Brehmer DR, Küster LC. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) *Naudin* (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. *Scientia Forestalis*. v. 41, n. 99, p. 401-410, set. 2013.

Furtado A C S, Rodrigues AC, Gomes JI, Ilkiu BF. Estudo anatômico de madeiras comercializadas no estado do Pará da família Leguminosae de alta densidade. In: Seminário de Iniciação Científica, 19, 2015, Belém, PA. Anais / 19º Seminário de Iniciação Científica; Embrapa Amazônia Oriental, 2015.

IBM Corp. Released. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.ipt.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

Juizo CGF, Lima MR, Silva DA. Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 2017, 12 (3):386-390.

Oliveira AC, Carneiro ACO, Vital BR, Almeida W, Pereira BLC, Cardoso MT. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Scientia Forestalis*, v. 38, n. 87, 2010.

Protásio TP, Bufalino L, Tonoli GHD, Couto AM, Trugilho PF, Junior MG. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira* 2011, 31 (66): 113.

Protásio TP, Trugilho PF, César AAS, Napoli A, Melo ICNA, Silva MG. Babassu nut residues: potential for bioenergy use in the North and Northeast of Brazil. SpringerPlus 2014, 3 (1): 124.

Sangsuk S, Suebsiri S, Puakhom P. The metal kiln with heat distribution pipes for high quality charcoal and wood vinegar production. *Energy for Sustainable Development*. 47 (2018) 149–157.

Soares VC, Bianchi ML, Trugilho PF, Hofler J, Pereira AJ. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. *Cerne* 2015, 21 (2): 191-197.

Souza CO. Potencial energético da madeira e carvão vegetal de angico vermelho (*Anadenanthera peregrina*) jovem. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

Trugilho PF, Silva DA. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.). *Scientia Agraria* 2001, 2 (1): 45.