

Efeitos da temperatura na torrefação de cavacos de *Schizolobium amazonicum* Herb.

Resumo: Desenvolveu-se o trabalho visando avaliar o efeito da temperatura na torrefação em diferentes temperaturas sobre as propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb). Utilizando uma mufla, os cavacos de Paricá foram submetidos a três tratamentos térmicos com temperaturas de 150, 200 e 250°C por vinte min. Foram realizadas análises físicas e químicas dos cavacos torreficados e in natura. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando estabelecidas diferenças significativas, aplicou-se o teste Tukey, a 95% de significância. A torrefação melhorou as propriedades dos cavacos de Paricá para fins energéticos. De maneira geral, quanto maior a temperatura de torrefação menor a umidade de equilíbrio, teor de voláteis e teor de cinzas, em contrapartida aumentou o teor de carbono. Recomenda-se a torrefação a 250 °C, visto que os cavacos torreficados nesta condição apresentaram melhor desempenho.

Palavras-chave: Biomassa florestal, temperatura, Paricá.

Effects of temperature on the roasting of *Schizolobium amazonicum* Herb.

Abstract: The work was carried out to evaluate the effect of temperature on roasting at different temperatures on the physical, chemical and energetic properties of Parica wood (*Schizolobium amazonicum* Herb). Using a muffle, the Paricá chips were submitted to three thermal treatments with temperatures of 150, 200 and 250°C for twenty minutes. Physical and chemical analyzes were carried out on the in vitro and torrid chips. The results were submitted to analysis of variance and when significant differences were established, the Tukey test was applied, at 95% of significance. The roasting improved the properties of the Paricá chips for energetic purposes. In general, the higher the roasting temperature, the lower the equilibrium moisture content, the volatile content and the ash content. On the other hand, the carbon content increased. The roasting at 250 ° C is recommended, as the torched chips in this condition showed better performance.

Keywords: Forest biomass, temperature, Paricá.

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a atividade industrial vem provocando uma crescente demanda por energia, que pode, em parte, ser suprida pela biomassa de origem florestal que se apresenta como potencial alternativa a ser utilizada como fonte de energia limpa, renovável e geradora de empregos.

A biomassa é um combustível sólido e em muitos casos polidisperso, requerendo tratamentos prévios para melhor exploração energética (Felfli; Luengo; Pedro,2003). Diversos autores demonstram que a torrefação é uma alternativa na melhoria da qualidade energética da biomassa florestal (Magalhães et al. 2018; Pereira et al. 2016; Batidzirai et al. 2013; Shang et al., 2014). A torrefação é um processo de pré-carbonização, que se desenvolve na fase endotérmica da pirólise, entre 250 e 300°C. Nestas condições são degradadas as hemiceluloses, sendo removida a umidade, o ácido acético, frações de fenol e outros compostos de baixo poder calorífico, resultando em um material intermediário entre a biomassa e o carvão, com altos rendimentos energéticos (Felfli; Luengo; Pedro,2003).

A torrefação vem sendo testada em diversas espécies florestais, tais como a Bracatinga *Mimosa scrobella* (Silva; Machado 2011), *Eucalyptus* sp. (Pereira et al. 2016), *Pinnus* sp. (Magalhães et al. 2018), *Schizolobium parahyba* (Narita et al. 2018), dentre outras, que apresentam, na maioria das vezes, resultados positivos. Para o paricá (*Schizolobium* sp.) ainda são inexistentes as publicações de estudos que envolvam a torrefação para madeira em forma de cavacos ou madeira em peças de maiores tamanhos, encontrando-se apenas estudos para pellets e briquetes.

O paricá ocorre naturalmente em toda a Região Amazônica, que abrange o Brasil, o Peru, a Bolívia e a Venezuela (Silva; Machado 2011). A espécie apresenta um rápido crescimento (Ducke, 1949), possui fuste retilíneo e boa desrama natural, a madeira é leve a moderadamente densa, entre 0,30 a 0,62 g.cm⁻³.

Levando em conta a crescente relevância do paricá no setor florestal brasileiro, os benefícios da torrefação para um melhor rendimento energético e a ausência de estudos envolvendo a torrefação para cavacos dessa espécie, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da torrefação em arvores com e sem a presença do bioestimulante e em diferentes temperaturas sobre as propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Seleção do material

O material utilizado foi proveniente da área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Chapadão do Sul, localizadas nas coordenadas 18°46'25.9"S e 52°37'26.7"W. Sendo utilizadas amostras de 18 árvores de *Schizolobium amazonicum* var. *amazonicum*, com 2,5 anos de idade, espaçadas em 2 m x 2 m.

2.2. Delineamento experimental

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4, com 3 repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação da presença (15 mL L⁻¹) e ausência de bioestimulante e com as temperaturas de 150, 200 e 250°C, com tempo fixo de 20 min de residência de torrefação. A aplicação do bioestimulante foi realizada nas sementes, onde ficaram

imersas em solução de água + bioestimulante por 4 horas. Após esse processo, as sementes foram semeadas diretamente em campo.

2.3 *Torrefação dos cavacos*

Para a obtenção das amostras foram coletados discos de madeira de 5 cm de altura no DAP (1,30 m). Os mesmos foram fracionados em cavacos para o processo de torrefação, utilizando-se aqueles classificados com massa média de 8 gramas, obtidos aleatoriamente. Os cavacos foram torreficados em forno mufla, com tempo fixo de 20 min,

As características avaliadas na madeira foram perda de massa, densidade básica, umidade de equilíbrio higroscópico e análise química imediata.

2.4 *Perda de massa*

As amostras foram pesadas antes e após o tratamento de torrefação para a obtenção da perda de massa.

2.5. *Densidade básica*

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (2003).

2.6. *Análise química imediata*

Para a análise química imediata dos cavacos foi adotada a norma D- 1762 (ASTM, 2013). Sendo avaliado o teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo.

2.7. *Umidade de Equilíbrio Higroscópico (UEH)*

Após os tratamentos as amostras foram submetidas a avaliação da umidade de equilíbrio higroscópico de acordo com o estudo de Severo et al. (2001).

2.8. *Análise estatística*

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para o fator qualitativo (bioestimulante) foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade e para o fator quantitativo (tempo de torrefação) foi utilizado a análise de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. *Densidade básica (g/cm³)*

Os valores médios para densidade não apresentaram interação significativa entre os fatores dose e temperatura, e também não houve diferença significativa entre as médias para os fatores isoladamente (bioestimulante, temperatura). O valor médio de densidade básica foi de 0.2746g/cm³.

3.2. *Perda de massa*

Ao realizar a análise de variância foi verificada interação significativa entre os fatores de tratamento, dose e temperatura (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1. Perda de massa da madeira de *Schizolobium amazonicum* em função do uso de bioestimulante em diferentes temperaturas.

Perda de Massa (%)			
Dose	150°C	200°C	250°C
COM (15 mL ⁻¹)	0.41 a	0.98 a	0.89 b
SEM (0 mL ⁻¹)	0.36 a	0.44 b	1.46 a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

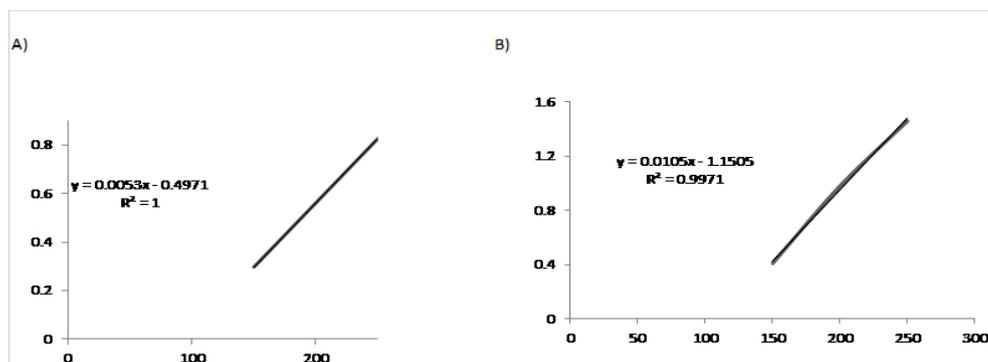


Figura 1. Perda de massa (%) dos cavacos em função das temperaturas de torrefação com e sem bioestimulante.

Ao analisar os gráficos verificou-se que a perda de massa do material aumentou conforme houve o acréscimo da temperatura, e este comportamento foi semelhante tanto nas amostras que continham dose de bioestimulante quanto nas sem bioestimulante.

Ao observar a perda de massa dos cavacos com e sem bioestimulante (Tabela 1), apenas na temperatura de 150°C não houve diferença significativa entre os valores médios. No entanto, na temperatura de 200°C, as amostras com influência de bioestimulante resultaram em uma perda de massa 55% maior em relação a sem bioestimulante; e na temperatura de 250°C, os cavaco sem bioestimulante perderam 39% a mais de massa em relação aos com bioestimulante. Além disso, a temperatura de 250°C foi a que resultou em maior perda de massa, e do mesmo modo, no estudo de Borges (2015) esta temperatura gerou o mesmo comportamento em amostras de madeira da espécie de *Eucalyptus grandis*.

3.3. Umidade de equilíbrio (UEH)

De acordo com a Anova não houve diferença significativa entre as médias para esta propriedade. Observou-se, no entanto, que o teor de umidade de equilíbrio higroscópico diminui de acordo com o aumento da temperatura, e, por exemplo, ao comparar a madeira *in natura* com a torrificada a 250°C reduziu-se em aproximadamente 32% deste teor.

A redução da UHE é um fator positivo quando a geração de energia, pois quanto menor for este percentual, menor será a taxa de energia térmica gasta para a combustão do material, além de outras vantagens, como por exemplo, menor peso da carga para transporte, entre outras vantagens.

3.4. Análise química imediata

Ao avaliar as propriedades resultantes da análise química imediata não houve interação significativa entre os fatores para a análise de carbono fixo, porém, estas diferenças foram identificadas quando se avaliou de forma independente doses e temperatura (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de carbono fixo das amostras de acordo com as doses de bioestimulante.

Dose	Teor de Carbono (%)
SEM (0 mL ⁻¹)	15,19 b
COM (15 mL ⁻¹)	16,44 a

Médias seguidas de letra, diferentes na coluna, diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Ao observar as médias de carbono fixo, verificou-se que a dose 0 mL⁻¹ de bioestimulante, resultou em 7,6% menos carbono fixo quando comparada a dose de 15 mL⁻¹.

Ainda, de acordo com a ANOVA, observou-se efeito significativo das temperaturas de torrefação para as propriedades de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo (Figura 2).

O teor de carbono fixo aumentou com a ampliação da temperatura, diferindo do teor e voláteis e cinzas. Este resultado pode ser justificado devido ao alto teor de extrativos voláteis na composição química da madeira, com o aumento da temperatura, o teor de carbono fixo também aumentou, na temperatura de 250°C ouve um acréscimo de 56.38 % ao ser comparado a testemunha. Silva (2013) e Felfli et al. (2003) observou a mesma relação, com resultados de 16,4, 22,2, 38,2 e 47,9 %, para as temperaturas de 200, 250, 270 e 300°C, respectivamente.

Quanto ao teor de cinzas (Figura 2B) observou-se que este diminuiu com o aumento da temperatura, esse resultado é importante no setor energético, pois têm relação inversa com o poder calorífico e podem causar corrosão nos equipamentos. Os cavacos que passaram pelo processo de torrefação nas temperaturas de 150, 200 e 250°C apresentaram um teor de cinzas respectivamente de 0,99, 0,81 e 0,64 % esses valores estão de acordo com o relato de Browning (1963) e Barcellos et al. (2005) onde o mesmo afirma que o teor cinzas varia ate 1%.

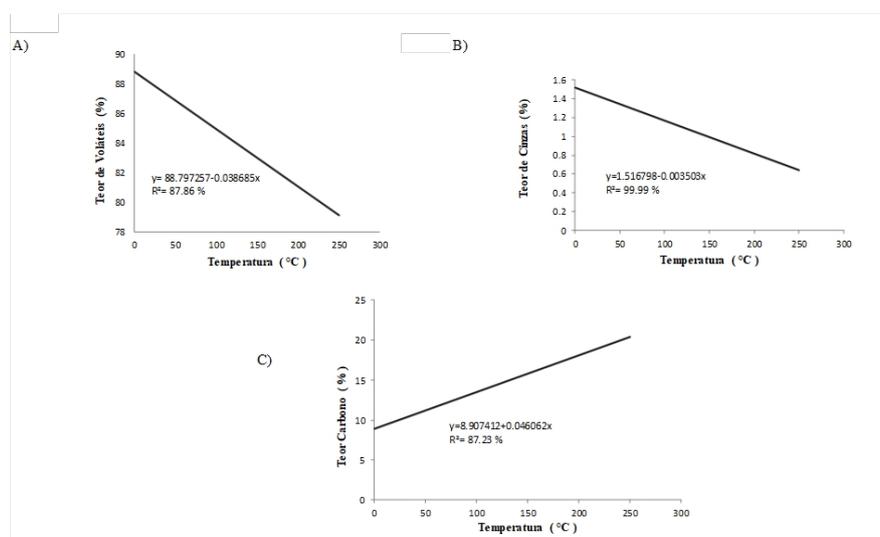


Figura 2. Gráfico de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo em função das temperaturas de torrefação.

4. CONCLUSÕES

De maneira geral, quanto maior a temperatura de torrefação menores os teores de umidade de equilíbrio higroscópico, de voláteis e de cinzas, e maior teor de carbono fixo, assim, a torrefação melhorou as propriedades dos cavacos de Paricá para fins energéticos.

Recomenda-se a torrefação a 250°C, visto que os cavacos torreficados nesta condição apresentaram melhores propriedades.

5. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2013. 6p.
- American society for testing and materials – ASTM. D 1762/64 (Reapproved 1977). p.578. 1964.
- Batidzirai B, Mignot APR, Schakel WB, Junginger HM, Faaij APC. Biomass torrefaction technology: techno-economic status and future prospects. **Energy**, v. 62, p. 196–214, 2013.
- BROWNING BL. 1963, The chemistry of wood. Deng, J.; Wang, G.J.; Kuang, J.H.; Zhang, Y.I. and Luo, Y.H. 2009, **Pretreatment of agricultural residues for co-gasification via torrefaction**, J Anal Appl Pyrolysis, 86, 331-337.
- Barcellos DC, Couto LC, Muller MD, Couo L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 141-158, 2005.
- Ducker A. Notas sobre a flora neotrópica II: As leguminosas da Amazônia brasileira. 2.ed. Belém, IAN 1949. 248 p. (IAN Boletim Técnico, 18).
- Felfli FEE. Torrefação de biomassa, viabilidade técnica e potencial de mercado. 2003. 180f. Tese (Doutorado) - Planejamento de Sistemas Energéticos. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2003.
- Narita DK, Nakashima TG, Róz AL, Felix AAP, Yamaji FM. Uso do Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) para fins energéticos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p.758-764, 29 jun. 2018. Universidad Federal de Santa Maria.
- Marques LCT, Yared JAG, Siviero MA. **A evolução do conhecimento sobre Paricá para o reflorestamento no estado do Pará**. Belém: Embrapa Pará, 2006. 5p.
- Magalhães MA, Carneiro ACO, Silva CMS, Vital BR, Martins MA, Cândido WL. Avaliação da torrefação da madeira em curtos tempos de residência em um reator tipo rosca sem fim. 2018; 9(3): 160-169.
- Melo RR, Menezzi CHSD, Souza MR, Stangerlin DM. Avaliação das Propriedades Físicas, Químicas, Mecânicas e de Superfície de Lâminas de Paricá (*Schizolobiumamazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 2, p.238-249, 2013.
- Pereira MPCF, Costa EVS, Pereira BL, Carvalho AMML, Carneiro ACO, Oliveira AC. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energético. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 269-275, jul./set. 2016.
- Shang, L, Ahrenfeldt, J, Holm, JK, Bach, LS, Stelte,W, Henriksen, UB. Kinetic model for torrefaction of wood chips in a pilot-scale continuous reactor. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 108, p. 109-116, 2014.
- Severo ETD, Tomaselli I, Bondueli GM, Rezende MA. Efeitos da vaporização na umidade de equilíbrio e sua implicação nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* maid. **Floresta**, Curitiba, v. 31, n. 1-2, p. 114-118, 2001.
- Silva, AG. Condicionamento de resíduos de *Eucalyptus grandis* para produção de biocombustível sólido. 2013. 130 f. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química – Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador-BA, 2013.
- Silva, MM, Machado GO. O futuro da energia : A antimatéria. In: I SIEPE – Semana de Integração Ensino, Pesquisa e extensão. **ISSN – 2236-7098**. Guarapuava: Unicentro, 2011. v. 1, p. 1 - 4.5