

POTENCIAL DENDROENERGÉTICO DE COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS DE *EUCALYPTUS GRANDIS*

J. G. Teleken¹³⁸
G. Bonassa¹³⁹
L. T. Schneider¹⁴⁰
E. I. B. Parisotto¹⁴¹
A. F. De Oliveira¹⁴²

RESUMO

A utilização de combustíveis fósseis ainda é o grande pilar de sustentação da atual matriz energética mundial, porém devido a questões ambientais relacionadas ao efeito estufa, emissões de CO₂ e mudanças climáticas, juntamente aos impasses econômicos associados aos preços do petróleo, tais combustíveis vêm sendo substituídos por demais fontes de energias renováveis, onde pellets e materiais carbonizados de biomassa são vistos como alternativas para a geração de energia. A peletização consiste em comprimir a matéria-prima, onde a lignina serve como aglutinante e a carbonização ocorre em atmosfera inerte, havendo degradação parcial da matéria. Assim sendo, o presente trabalho objetivou análises de pellets de eucalipto e dos mesmos carbonizados analisando os teores de: umidade, carbono, voláteis e cinzas, de ambos os materiais, comparando suas propriedades e afirmando o poder dendrocombustível. Após a carbonização o teor de carbono do material teve um aumento de quatro vezes, com redução de voláteis e umidade, o que é vantajoso para o processo de combustão e geração de energia térmica.

¹³⁸ Graduação em Engenharia Química. Mestrado e Doutorado em Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina. Professor Adjunto, nível I da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharias e Exatas. Endereço: Rua Pioneiro, 2153, Palotina – Paraná, CEP: 85950-000, Brasil. E-mail: joelteleken@gmail.com

¹³⁹ Tecnóloga em Biocombustíveis - Universidade Federal do Paraná. Mestranda em Engenharia de Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel. Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura. Endereço: Rua Universitária, 2069 – Jardim Universitário, Cascavel – Paraná, CEP 85819-110. E-mail: gabrielabonassa@gmail.com.

¹⁴⁰ Tecnóloga em Biocombustíveis - Universidade Federal do Paraná. Mestranda em Engenharia de Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel. Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura. Endereço: Rua Universitária, 2069 – Jardim Universitário, Cascavel – Paraná, CEP 85819-110. E-mail: laarats@gmail.com.

¹⁴¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia e Alimentos, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Email: manuparisotto@gmail.com

¹⁴² Graduação em Química - Licenciatura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Mestrado em Química - Universidade Federal de Santa Maria. Doutorado em Agronomia - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Professora Adjunta, nível III da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharias e Exatas. Endereço: Rua Pioneiro, 2153, Palotina – Paraná, CEP: 85950-000, Brasil. E-mail: adrianaferla04@gmail.com.



PALAVRAS-CHAVE: Dendroenergia; eucalipto; pellets; carbonização.

1 INTRODUÇÃO

A instabilidade e elevados preços dos combustíveis fósseis, alterações climáticas e a busca por fornecimento de energia de forma segura, proporcionam o incremento na produção de combustíveis utilizando a madeira como matéria-prima (CERASINO; PORTA, 2014).

Dentre as formas de aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos a briquetagem e a peletização são processos bastante eficientes para aumentar a densidade energética da biomassa, tendo em vista que a baixa densidade dificulta o uso eficiente do material. A gradativa expansão do mercado dendroenergético é um desafio técnico e depende de tecnologias para produção de pellets com alto padrão de qualidade e desempenho energético (PROTÁSIO et al., 2012).

A peletização consiste na concentração de energia por meio da prensagem de materiais lignocelulósicos, convertendo o material em um combustível com maior poder calorífico, teor de carbono fixo, densidade e uniformidade, facilitando o transporte e armazenamento, e menor teor de materiais voláteis e umidade (COUTO et al., 2004; NGUYEN et al., 2015; YAN et al., 2009; CHEN et al., 2011).

Outra forma de utilização destes materiais é na forma carbonizada, processo em que inicialmente a biomassa sofre uma degradação térmica com liberação subsequente de produtos voláteis, formando o carvão como produto (GUERRERO et al., 2005).

A análise imediata de um dendrocombustível indica as porcentagens de umidade, carbono, voláteis e cinzas, ou seja, fornece a porcentagem do material que se queima no estado gasoso (material volátil), no estado sólido (carbono fixo), é indicativo do material residual (cinzas) e também determina o teor de umidade, o qual influencia principalmente no poder calorífico (CRNKOVIC et al., 2004).

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi à realização de análise imediata de pellets de *Eucalyptus grandis*, e dos mesmos após o processo de carbonização para verificação das alterações em suas propriedades e cálculo do rendimento gravimétrico do processo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida englobou as etapas de análise imediata dos pellets de eucalipto, carbonização dos mesmos e análise imediata dos pellets carbonizados.

2.1 Análise imediata

A análise imediata dos pellets de eucalipto e dos mesmos carbonizados foi realizada seguindo os procedimentos da normativa NBR 8112/83.

Para a determinação da umidade, carbono fixo, teor de voláteis e cinzas, em cadinhos previamente secos em estufa a 110 °C pesou-se aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume do cadinho com ambas as amostras a serem analisadas, estes foram encaminhados a estufa a 110 °C por duas horas e em seguida resfriados em dessecador por 30 minutos. Os recipientes tampados foram colocados em mufla a 950 °C, durante 6 minutos, novamente resfriados em dessecador e posteriormente pesados para a determinação da massa de carbono.

Em mufla, com temperatura inferior a 300 °C, os cadinhos foram destampados e aquecidos lentamente até 750 °C, permanecendo em tal temperatura durante 2 horas. Após resfriados em dessecador, pesaram-se os mesmos para a determinação da massa de cinzas dos pellets de eucalipto e dos pellets carbonizados.

Com base na massa do cadinho, massa de amostra úmida adicionada ao cadinho, massa de carbono e massa de cinza, determinaram-se as massas de amostra úmida, amostra seca, carbono + cinzas, cinzas, porcentagem de umidade, porcentagem carbono, porcentagem de voláteis, porcentagens de cinzas e total com base nas Equações 1 a 9, respectivamente. Ambas as análises realizadas em duplicata.

$$\begin{array}{l} \text{Massa da} \\ \text{amostra} \\ \text{úmida} \end{array} \quad m_{\text{amostra úmida}} = m_{\text{amostra úmida e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa da} \\ \text{amostra} \\ \text{seca} \end{array} \quad m_{\text{amostra seca}} = m_{\text{amostra seca e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (2)$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa de} \\ \text{carbono +} \\ \text{cinzas} \end{array} \quad m_{\text{carbono+cinzas}} = m_{\text{carbono e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Massa de} \\ \text{cinzas} \end{array} \quad m_{\text{cinzas}} = m_{\text{cinzas e cadinho}} - m_{\text{cadinho}} \quad (4)$$

$$\% \text{ Umidade} \quad \% \text{ umidade} = \frac{(m_{\text{amostra úmida}} - m_{\text{amostra seca}})}{m_{\text{amostra úmida}}} \times 100 \quad (5)$$

$$\% \text{ Carbono} \quad \% \text{ carbono} = \frac{(m_{\text{carbono+cinzas}} - m_{\text{cinzas}})}{m_{\text{amostra seca}}} \times 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Voláteis} \quad \% \text{ voláteis} = \frac{(m_{\text{amostra seca}} - m_{\text{carbono+cinzas}})}{m_{\text{amostra seca}}} \times 100 \quad (7)$$

$$\% \text{ Cinzas} \quad \% \text{ cinzas} = \frac{m_{\text{cinzas}}}{m_{\text{amostra seca}}} \times 100 \quad (8)$$

$$\% \text{ Total} \quad \% \text{ total} = \text{Carbono}_{(\% \text{ em b.s.})} + \text{Voláteis}_{(\% \text{ em b.s.})} \\ + \text{Cinzas}_{(\% \text{ em b.s.})} \quad (9)$$

2.2 Carbonização dos Pellets de Eucalipto

Em cadinhos secos em estufa a 110 °C e resfriados em dessecador, ¼ do volume dos cadinhos foram preenchidos com amostras de pellets, os mesmos foram encaminhados novamente à estufa para secagem a 110 °C, e pesados em intervalos de duas em duas horas até a estabilização da massa.

Posteriormente, os cadinhos foram alojados em mufla com taxa de aquecimento de 1,67 °C por minuto até a temperatura de 450 °C, permanecendo nessa temperatura por 30 minutos, totalizando 4,5 horas, de acordo com a metodologia desenvolvida por Protásio et al. (2012).

Cálculo do rendimento gravimétrico da conversão do material carbonizado em carvão (%).

Com base na massa de amostra pesada no cadinho anterior e posterior a carbonização, calculou-se o rendimento gravimétrico da conversão do material a zero % de umidade, a partir da Equação 10.

$$\% \text{ Rendimento gravimétrico} = \frac{\text{massa}_{\text{inicial}} - \text{massa}_{\text{final}}}{\text{massa}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (10)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise imediata dos pellets de Eucalipto e do mesmo material carbonizado é possível observar que as concentrações de umidade, carbono, voláteis e cinzas são diferenciadas após o tratamento térmico, de acordo com os valores expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise imediata dos pellets de Eucalipto e dos pellets carbonizados

Amostra	Massa amostra úmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa carbono mais cinzas (g)	Massa cinzas (g)	Umidade (% b.u.)	Carbono (% b.s.)	Voláteis (% b.s.)	Cinzas (% b.s.)	Total (%)
Pellets de Eucalipto	8,0421	7,5948	1,3436	0,5289	5,5093	10,7258	82,3125	6,9616	100
Pellets carbonizados	2,6619	2,6619	2,2144	0,875	0	50,2144	16,7966	32,9889	100

Elaborada pelos autores, 2015.

O valor de umidade dos pellets de eucalipto foi de 5,5093%, resultado correspondente ao obtido por Phuhiran et al. (2014), que foi de 5,21%. Quanto menor o teor de umidade do material maior a produção de calor por unidade de massa, uma vez que a presença desta representa poder calorífico negativo, onde parte da energia liberada é gasta na vaporização da água. Além disso, um alto teor de umidade proporciona migração excessiva de líquido para a superfície do pellet, ocasionando a aglomeração e influenciando na durabilidade e tempo de estocagem (GONÇALVEZ et al., 2009; SANTOS et al., 2004).

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.523-531, dez. 2015.

Para o pellet carbonizado a umidade é de 0%, uma vez que a temperatura em que o processo é conduzido (450°C) resulta na evaporação completa da água e demais compostos líquidos.

Observa-se na Tabela 1, que a porcentagem de carbono encontrada nos pellets de eucalipto foi de 10,7258%, inferior ao encontrado em estudos realizados por Musinguzi et al. (2012), que foi de 11,5%. Em relação aos pellets carbonizados, verifica-se que a concentração de carbono é quatro vezes superior. Segundo Munalula & Meincken (2009), o aumento do teor de carbono proporciona o aumento do poder calorífico, ao mesmo tempo em que exige maior tempo de permanência em queimadores devido à queima mais lenta, entretanto, resultando em uma queima mais uniforme do material (VALE et al., 2000).

O aumento da concentração de voláteis é inverso à concentração de carbono, o que pode ser verificado na Tabela 1. O teor de voláteis dos pellets de eucalipto foi de 82,3125%, comparável ao valor de Phuhiran et al. (2014), 78,66%. De acordo com a literatura, materiais com elevados teores de voláteis queimam com mais facilidade e rapidez (PINCELLI, 2011).

Durante a carbonização, os produtos voláteis são removidos na forma de óxido de carbono e hidrogênio, enriquecendo o teor de carbono formado (KATYAL et al., 2003).

Em relação ao teor de cinzas, obteve-se uma porcentagem de 6,9616%, valor muito acima do encontrado por Phuhiran et al. (2014), que foi de 3,53%, a amostra carbonizada apresentou um resultado de 32,9889%. Segundo Lethikangas (2001), elevados teores de cinzas podem ser provenientes de fontes externas como impurezas, adquiridas durante o transporte, processamento ou armazenamento da matéria-prima. A energia do combustível é reduzida em proporção ao aumento do teor de cinzas, pois o mesmo corresponde à porcentagem de material inerte que não produz calor (GONÇALVEZ et al., 2009).

Protásio et al. (2012), fez um estudo da análise imediata de briquetes in natura de resíduos do processamento dos grãos de café e do mesmo carbonizado, observando que o teor de cinzas também foi maior na amostra carbonizada e explicou que isso é em decorrência da concentração de cinzas após o tratamento térmico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise imediata de um dendrocombustível indica a porcentagem de alguns componentes presentes no mesmo, dando a estas características que influenciam no seu poder calorífico e potencial de geração de energia.

Com tal análise foi possível observar as alterações nas propriedades dos pellets de eucalipto e dos mesmos carbonizados, onde os valores obtidos na análise dos pellets de eucalipto foram compatíveis com a literatura.

Após a carbonização do material ao abrigo do ar, houve a decomposição parcial e a obtenção de maiores teores de carbono e cinzas e redução dos compostos voláteis e umidade, o que proporciona o aumento do poder calorífico devido à compactação das moléculas de carbono.

A utilização de pellets e carvão proporciona a diminuição da área da biomassa, aumento da densidade e do seu poder calorífico, redução da umidade e do risco de incêndio e explosão, garantindo eficiência de combustão e desprezando variação no poder de queima. Estes materiais apresentam alta viabilidade para a substituição total ou parcial de combustíveis fósseis na produção de energia térmica, além de serem combustíveis de fácil manuseio, armazenamento e utilização.

DENDROENERGETIC POTENCIAL OF SOLID FUELS *EUCALYPTUS GRANDIS*

ABSTRACT

The use of fossil fuels still the bigger pillar of the support current global energy mix, however due to environmental questions related to the greenhouse effect, CO₂ emissions and climate changes, along with economic impasses associated with oil prices, such fuels are being replaced by other sources of renewable energy. The pelletization, consist in compress the feedstock, where the lignin serve as a binder and the carbonization occurs in an inert atmosphere, having parcial degradation of the material. Therefore, the present work aim to analysis the eucalyptus pellets and the same carbonized, analyzing the levels of: humidity, carbon, volatile and ash, of the double materials, comparing your property and affirming the dendrofuel power. After the carbonization, the carbon level of the material had a four-fold increase, with reduction of volatiles and humidity, which is advantageous to the combustion process and thermal power generation.

KEYWORDS: Dendroenergy; eucalyptus; Dendroenergia; eucalipto; pellets; carbonization.

REFERÊNCIAS

Associação brasileira de normas técnicas. *Carvão vegetal: análise imediata*. NBR 8112, Rio de Janeiro, 6 p, 1983.

CERASINO, L.; PORTA, N. L. Allocation of five macroelements and quality of fuels derived from Norway spruce wood obtained by thinning operations. *Biomass and Bioenergy*, vol. 70, p. 553-556, 2014.

CHEN, W. H.; HSU, H. C.; LU, K. M.; LEE, W, J.; LIN, T. C. Thermal pretreatment of wood (Lauan) block by torrefaction and its influence on the properties of the biomass. *Energy*, vol.36, pp. 3012-3021, 2011.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; SILVA-JÚNIOR, A. G.; CONDE, L. J. N. Produção de pellets de madeira - o caso da bio-energy no Espírito Santo. *Biomassa & Energia*, vol. 1, no. 1, pp. 45-52, 2004.

CRNKOVIC, P. M.; POLITO, W. L.; FILHO, C. G. S.; MILIOLI, F. E.; PAGLIUSO, J. D. O efeito da granulometria na decrepitação durante a decomposição térmica de calcários e carvão. *Química Nova*, vol. 27, no. 1, pp. 58-61, 2004.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, S. A. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.13, no. 5, pp. 657-661, 2009.

GUERRERO, M.; RUIZ, M. P.; ALZUETA, M. U.; BILBAO, R.; MILLERA, A. Pyrolysis of eucalyptus at different heating rates: studies of char characterization and oxidative reactivity. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 74, no. 1-2, pp. 307-314, 2005.

KATYAL, S.; THAMBIMUTHU, K.; VALIX, M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. *Renewable Energy*, vol. 28, no. 5, pp. 713-725, 2003.

LEHTIKANGAS, P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, vol.19, pp. 351-360, 2001.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, no. 3, pp. 415-420, 2009.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.523-531, dez. 2015.