**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE BRIQUETES DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS SUBMETIDOS A PIRÓLISE**

Victória Oliveira Diaz de Lima1, Matheus de Paula Gonçalves2, Amanda Araújo Drago3, Aline Bavaresco dos Santos4, Adriana Ferla de Oliveira5

*1Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Engenharia de Energia, victoriaoliveiradiaz@gmail.com*

*2 Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Engenharia de Energia*

*3 Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Departamento de Engenharia e Exatas*

*4 Universidade Federal da Integração Latino Americana - Departamento de Laboratórios de Ensino*

*5 Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Departamento de Engenharia e Exatas*

**Resumo**

A grande demanda energética e os danos do aquecimento global podem vir a serem supridos e minimizados a partir da utilização de biomassa como fonte de energia. Alguns dos resíduos lignocelulósicos agrícolas que podem ser utilizados na produção de briquetes para geração de energia são o pó de serra e o sabugo de milho, comumente encontrados na agroindústria. O objetivo do trabalho foi caracterizar as propriedades físico-químicas de briquetes compostos de 50 % pó serra e 50 % sabugo de milho nas condições *in natura*, torrados e carbonizados. Os tratamentos térmicos e as análises físico-químicas dos briquetes foram realizadas no Laboratório de Química Orgânica, na UFPR Setor Palotina. Os briquetes foram caracterizados por análise imediata pelo método ASTM D-3. 172 até D-3. A quantificação dos extrativos foi realizada de acordo com Wastowski (2018). O percentual absolutamente seco e os teores de holocelulose e celulose foram determinados com base na TAPPI T264 cm-97, TAPPI T257 om-85 e determinação por hidróxido de potássio. Os briquetes foram tratados com taxa de aquecimento de 1,7 ºC min-1 com temperatura inicial igual a temperatura ambiente até a temperatura de 300 ºC, no caso da torrefação, e até 450 ºC para a carbonização, mantidos durante 30 min em ambos os casos. O percentual absolutamente seco, holocelulose e celulose encontrados foram de 93,05 %, 70,06 % e 51,75 %, respectivamente. Os resultados de 8,50 %, 10,97 % e 21,16 % correspondem aos extrativos em água fria, água quente e em NaOH. A partir da análise imediata obteve-se resultados para materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de 86,25 %, 1,57 % e 12,20 % para a amostra *in natura*; 28,50 %, 7,54 % e 63,90 % para a amostra torrada e 11,25  %, 9,01  % e 79,70 % para a amostra carbonizada. Além disso, determinou-se o rendimento gravimétrico para a amostra torrada e carbonizada, os quais foram de 32,42 % e 26,41 %, nessa ordem. Os resultados obtidos são condizentes com aqueles encontrados na literatura, destaca-se que o teor de carbono fixo aumenta quando o parâmetro de temperatura é incrementado. Sugere-se que tratamento térmico contribui positivamente para o aumento do poder calorífico dos briquetes devido à porcentagem de carbono disponível para combustão.

**Palavras-chave.**Biomassa. Torrefação. Carbonização. Briquetes.

**Introdução**

De acordo com a Agência Internacional de Energia (2011), o consumo de energia aumentará cerca de um terço até o ano 2035. Diante deste cenário, iniciou-se uma busca pelo conhecimento e utilização de fontes renováveis de energia como alternativa para o uso de combustíveis fósseis. Tais fontes são aquelas cujos recursos são naturais e inesgotáveis como a eólica, a solar fotovoltaica, a hidrelétrica e a biomassa, que minimizam o impacto ambiental e o uso de fontes não renováveis (LIMA, 2012).

Conforme Cosbey (2011), como o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, estudos e desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento das fontes renováveis beneficiarão comunidades rurais e regiões afastadas. Além disso, a prática dessas atividades gera um acúmulo significativo de biomassa residual que representa um depósito de energia considerável.Quando compactado em forma de *pellets* ou briquetes, a aplicação destes resíduos torna-se mais eficiente como substituintes da lenha em indústrias, laticínios, pizzarias, entre outras (DIAS, 2012).

Para uma maior utilização dos briquetes se faz necessário melhorar sua qualidade e desempenho energético por meio de tratamentos térmicos da biomassa, como a torrefação e a carbonização, que proporcionam aumento da densidade energética e a redução da umidade do material (PRINS et al. 2006).

Diante dos fatores e alternativas citadas acima, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar as propriedades físico-químicas de briquetes compostos de 50 % pó serra e 50 % sabugo de milho nas condições *in natura*, torrados e carbonizados, como alternativa eficaz de biocombustível sólido para fins energéticos.

**Material e Métodos**

Os procedimentos foram realizados, em triplicata, no Laboratório de Química Orgânica da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina.

Coletou-se aleatoriamente dois briquetes e retirou-se 3 (três) discos de 2 cm de espessura para a torrefação e outros 3 (três) para carbonização, sem a pré-disposição de qual tratamento térmico cada disco receberia. A serragem produzida no corte desses discos foi utilizada para a caracterização *in natura* dos briquetes.

Após a secagem dos discos em estufa 105 ± 2 ºC durante 4 h, foram realizados, em forno tipo mufla, os traramentos térmicos de torrefação e carbonização.

A torrefação foi realizada segundo metodologia adaptada de Protássio *et al*. (2012) com taxa de aquecimento 1,7 ºC min-1 desde a temperatura ambiente até a temperatura de 300 ºC e mantido durante 30 min. Por sua vez, a carbonização foi realizada à 450 ºC entrentanto com a mesma taxa de aquecimento e de retenção.

Tanto o resíduo do corte como os briquetes torrados e carbonizados foram moídos em moinho Willey e peneiradas em conjunto de peneiras de 40 - 60 mesh para a realização da análise imediata pelo método ASTM D-3.172 até D-3.175.

A metodologia utilizada para extrair os componentes macromoleculares holocelulose e celulose foi baseada no método de TAPPI T257 om-85 e determinação por hidróxido de potássio, respectivamente. A quantificação de extrativos por água fria (Eaf), água quente (Eaq) e por NaOH foi realizada de acordo com a bibliografia de Wastowski (2018).

Por sua vez, a determinação do rendimento gravimétrico foi realizada de acordo com a metodologia de Protásio *et al*. (2012).

**Resultados e discussão**

Os valores obtidos por meio da análise química da biomassa dos briquetes estão dispostos na Tabela 1.

O teor de umidade é um dos fatores mais importantes a serem analisados por apresentarem uma relação inversamente proporcional ao poder calorífico (PC) e por variarem de acordo com a espécie, o clima e o armazenamento. Uma combustão efetiva e a não redução do poder calorífico requerem teores de umidade abaixo de 10 % Garcia (2010). Por sua vez, o percentual absolutamente seco é o inverso do teor de umidade, podendo chegar a 90 % no material analisado. Assim, de acordo com o resultado exposto na Tabela 1, infere-se que o valor de umidade seja satisfatório.

Tabela 1. Resultados da caracterização química dos briquetes analisados.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Análise | briquetes | *1E. urograndis\** | *1E. uroplylla*  | *2Pinus oocarpa* | *3Eucalipto grandis* | *4Pinus taeda* | *5Pinus oocarpa* |
| Percentual absolutamente seco (%) | 93,05 | - | - | - | - | - | - |
| Eaf (%) | 8,50 | 5,97 | 2,63 | - | - | - | - |
| Eaq (%) | 10,97 | 3,4  | 2,1  | - | - | - | - |
| Extrativos em NaOH (%) | 21,16 | 15,82  | 12,02  | - | - | - | - |
| Holocelulose (%) | 70,06 | - | - | 65,21 | 69,18 | - | - |
| Celulose (%) | 51,75 | - | - | - | - | 55,80 | 59,05 |

Fonte: 1Moreira, Fazion e Ribeiro (2016); 2Rodrigues, Hillig e Machado (2009); 3Mori (2003); 4Rigatto, Dedecek e Matos (2004); 5Morais, Nascimento e Melo (2005)

De acordo com Quirino *et al*. (2004), madeiras com valores elevados de extrativos e lignina apresentam maior poder calorífico se comparadas às madeiras com menores quantidades desses compostos, por apresentarem menor quantidade de oxigênio do que na celulose e hemicelulose. A porcentagem de extrativos pode atingir até no mínimo 20 % (PETTERSON, 1984), assim, com base nos resultados da Tabela 1 a amostra em estudo pode apresentar um poder calorífico maior do que a observada na literatura por dispor de teores de extrativos mais elevados.

Segundo Santos, Colodette e Queiroz (2013), a celulose tem uma parcela importante na geração de energia por meio da queima direta, por ser o maior componente da madeira em massa e volume. O resultado encontrado para celulose apresenta-se coerente e implica em uma maior geração de energia por unidade de massa, sendo semelhante à de pinus.

As principais características do briquete são o poder calorífico, os materiais voláteis, as cinzas e o carbono fixo (COSTA; MORAES, 2011). Após um tratamento térmico o teor de cinzas e carbono fixo tendem a aumentar e o de voláteis a diminuir (LIMA, 2019). Os resultados obtidos com os tratamentos propostos para a amostra do briquete apresentaram um comportamento condizente com a literatura, como exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados de análises imediatas das amostras nas condições *in natura*, torrada e carbonizada comparadas às diferentes amostras encontrados na literatura.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| amostra | Teor de voláteis (%) | Teor de cinzas (%) | Teor de Carbono fixo (%) |
| *In natura* | **86,25\*** | **1,57\*** | **12,20\*** |
| 80,541 | 1,571 | 17,91 |
| 81,161 | 0,231 | 18,611 |
| Torrada | **28,50\*** | **7,54\*** | **9,01\*** |
| 40,512 | 1,262 | 58,222 |
| 67,183 | 0,273 | 32,553 |
| Carbonizada | **11,25\*** | **12,20\*** | **79,70\*** |
| 27,44 | 1,64 | 714 |
| 25,483 | 1,093 | 66,283 |

**amostra em estudo\*;** SILVA *et. al* (2015) – Serragem de Pinus e Eucaliptos spp, BORGES (2015)2 - *Eucalyptus grandis*, BATISTA (2015)3 – *Pinus Elliotti*, SANTIAGO e ANDRADE (2005)4 – *Eucalyptus uropylla*.

 Os materiais que apresentam maiores valores de poder calorífico superior podem estar associados ao fato de possuírem maiores valores de carbono fixo. Neste trabalho, o aumento do teor de carbono fixo após um tratamento térmico foi satisfatório. Devido ao fato de o teor de carbono fixo estar relacionado à porcentagem de carbono disponível para combustão, o alto valor identificado sugere que este material possuirá um poder calorífico elevado (EFOMAH e GBABO, 2015).

 O teor de materiais voláteis contribui para o poder calorífico de forma contrária ao teor de carbono fixo. Durante o processo de tratamento térmico se procura o decréscimo do teor de voláteis. Sendo assim, a redução apresentada pela amostra foi positiva. Em comparação com os dados da literatura citados na Tabela 2, os resultados após o tratamento foram menores, o que interfere positivamente no PCS.

Os resultados para o teor de cinzas das amostras em estudo são superiores àqueles encontrados na literatura (Tabela 2) para serragem de eucalipto e de pinus, *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus spp*.

Para verificar a qualidade da análise imediata determinou-se o coeficiente de variação por meio do teste de Tukey. Valores de CV inferiores ou próximos a 10 % implicam em uma boa precisão entre os dados obtidos, uma vez que a exatidão do experimento é inversamente proporcional ao coeficiente de variação, ou seja, quanto menor o valor de CV maior a qualidade dos dados (CARGNELUTTI FILHO; STORK, 2007). Sendo assim, como os CV’s determinados por meio da análise foram de 3,21 %, 2,45 % e 13,79 % para teor de voláteis, cinzas e carbono fixo apresentaram-se inferiores ou próximos a 10 % pode-se considerar que os resultados obtidos no presente trabalho possuem uma boa qualidade e precisão.

Tabela 4. Rendimento gravimétrico das amostras torras e carbonizadas.

|  |  |
| --- | --- |
| Condição | Rendimento Gravimétrico (%) |
| Briquete | Literatura |
| Torrada | 32,42 | 43,391 |
| Carbonizada | 26,41 | 30,062 |

Fonte: SIDNEI (2014)1 *- Eucalyptus urograndis*, SANTIAGO e ANDRADE (2005)2 – *Eucalyptus uropylla*.

Os tratamentos térmicos causam uma perda de massa aos materiais devido a degradação dos componentes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses e componentes voláteis. Essa perda varia de acordo com o tipo de biomassa, temperatura, taxa de aquecimento e tempo de residência, de modo que um baixo rendimento gravimétrico indica maior remoção desses voláteis (YLDIZ et al.,2006). De acordo com a Tabela 4, pelos rendimentos obtidos, afirma-se que o material deste trabalho apresentou melhor eliminação de voláteis se comparado aos listados a partir da literatura.

**Conclusões**

A biomassa dos briquetes, composta por 50 % de pó de serra e 50 % de sabugo de milho, apresentou valores de percentual absolutamente seco, extrativos em geral, holocelulose e celulose condizentes com a faixa de resultados encontrados na literatura para as biomassas de *Pinus e Eucalipto*, madeiras amplamente utilizadas a nível comercial para fins energéticos.

Na análise imediata observou-se um baixo teor de voláteis e um elevado teor de carbono fixo após os tratamentos térmicos, o que sugere influência positiva no poder calorífico superior do combustível. Os baixos rendimentos gravimétricos das amostras indicaram que o processo de eliminação dos materiais voláteis foi eficaz.

**Referências Bibliográficas**

\_\_\_\_\_. NBR 8633. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D 1762: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, 1977. 1042p.

BATISTA, J. A. N. Torrefação do Pinus elliottii para fins energéticos. 2015.

BORGES, A. C. P. Caracterização energética do cavaco de eucalyptusgrandis “in natura” e torrefeito. 2015.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.17-24, 2007.

Carvalho, J. B. R. Composto a partir de glicerina e biomassa para produção de energia. UFS/DEQ, 2010. 20-64p.

COSBEY, A. Trade. Sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks. The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective. p. 40, 2011.

DIAS, J. M. C. de S. et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Embrapa Agroenergia-Documentos (INFOTECA-E), 2012.

DIAS, M. C. Silva, E. J., Celestino, P. C. G., Valadares, A. K., Nascimento, R. F. D. M. C., da Silva, B. H., Barreto, L. P. Teor de holocelulose e lignina em madeira de pau-brasil (Caesalpinia echinata Lam.). CEP, v. 52171, p. 900.

EFOMAH, A. N.; GBABO, A. The Physical, Proximate and Ultimate Analysis of RiceHusk Briquettes Produced from a Vibratory Block MouldBriquetting Machine. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, v. 2, n. 5, p. 814-822, 2015.

GARCIA, Dorival Pinheiro. Caracterização química, física e térmica de Pellets de madeira produzidos no Brasil. 2010. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Disponível em: <https://www.itapeva.unesp.br/Home/Pos-graduacao/EngenhariaMecanica/garcia\_dp\_me\_guara\_prot.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World energy outlook 2011. Paris, 2011.

LIMA, R. A. A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima. Revista Direito E-nergia, 2012.

LIMA, V. O. D.; MICHELETTI, D. H.; OLIVEIRA, A. F. de. Caracterização física e energética de briquetes de Guandu submetidos a tratamento térmico. 2019. II Simpósio em Bioenergia. Unioeste.

MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do; MELO, D. C. de. Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. Revista Árvore, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MORI, F. A.; Mendes, L. M.; Trugilho, P. F.; Cardoso, M. D. G. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. Food Science and Technology, v. 23, n. 3, p. 396-400, 2003.

PAULA, L. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. 2010.

PETTERSON, R. C. The chemical composition of wood. Washington, American Chemical Society, 1984.

PRINS, M. J.; PTASINSKI, K. J.; JANSSEN, F. J. Torrefação de madeira: Parte 2. Análise de produtos. 2006. Jornal de Pirólise Analítica e Aplicada. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237006000167>. Acesso em: 11 fev. 2020.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AEVEDO, A. C. dos S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. Biomassa & Energia, Brasília, v. 1, n.2, p. 173-182, 2004.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de Pinus taeda para produção de celulose Kraft. Revista árvore, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

RODRIGUES, C. K.; HILLIG, E.; MACHADO, G. de O. Análise química da madeira de Pinus oocarpa. Semana de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 1, p. 2009, 2009.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. de. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. Ciência Florestal, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-açúcar e espécies florestais. Viçosa: Os Editores, 2013.

SILVA, D. A.; NAKASHIMA, G. T.; BARROS, J. L.; ROZ, A. L. da; YAMAJI, F. M. Caracterização de biomassas para a briquetagem. Floresta, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2015.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI T222 om-98: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta: Tappi Technical Divisions and Committees, 2006.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI T257 om-85: Sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: Tappi Technical Divisions and Committees, 2012.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI T264 cm-97: Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: Tappi Technical Divisions and Committees, 2007.

WASTOWSKI, A. D. Química de madeira. 1ª Ed. Editora intercência, 2018.