

ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE RESÍDUOS MADEIREIROS DE SERRARIA

Talyssa Mayra de Lima e Lima, Ricardo Gomes de Oliveira, Caroline Junqueira Sartori.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista – MG, Brasil - talyssamayra@gmail.com; ricardo.gomes@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial energético de resíduos de serraria, analisando parâmetros químicos imediatos e o poder calorífico superior (PCS) do material. Foram utilizadas amostras de maravalhas, submetidas a análises de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Os resultados apontaram umidade em base úmida média de 10,25%, teor elevado de materiais voláteis (80,77%), baixo teor de cinzas (0,35%) e carbono fixo de 18,88%, com baixo coeficiente de variação para a maioria dos parâmetros, indicando uniformidade do material. O PCS obtido foi de 4615 kcal/kg, valor compatível com biomassas madeireiras utilizadas para geração de energia térmica. Esses resultados indicam que a serragem apresenta características adequadas para uso energético, destacando-se pela combustão eficiente, baixa geração de resíduos sólidos e potencial para aplicação em queima direta, caldeiras e produção de briquetes e pellets, contribuindo para a valorização sustentável de resíduos florestais.

Palavras-chave: Resíduos, Poder calorífico superior, Teor de Carbono.

Área do Conhecimento: Ciências agrárias.

Introdução

A busca por fontes de energia renováveis tem se intensificado nas últimas décadas, impulsionada pelo crescimento populacional, pela demanda energética global e pela necessidade de mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis. Nesse contexto, a biomassa florestal surge como uma alternativa promissora, destacando-se por sua disponibilidade, caráter renovável e potencial para contribuir na diversificação da matriz energética.

Nesse cenário, a biomassa pode ser definida como qualquer matéria orgânica, de origem animal ou vegetal (Saidur *et al.*, 2011), que pode ser transformada e fornecer energia, na forma de calor ou eletricidade. Entende-se, portanto, que a biomassa é considerada um material orgânico oriundo de fontes vivas (Eom *et al.*, 2011), como a cana-de-açúcar, madeiras, resíduos agroindustriais, dentre outros.

Uma importante fonte de biomassa para energia são os resíduos provenientes das indústrias de base florestal. Esses resíduos são constituídos por todo aquele material que é deixado para trás na coleta da madeira, tanto em florestas e bosques naturais como em reflorestamento, e pela serragem e aparas produzidas na indústria no processamento da madeira (Cortez *et al.*, 2008).

Segundo Ministério do Meio Ambiente – MMA (2009) as principais tecnologias disponíveis para o aproveitamento energético de biomassa são a cogeração de energia, o uso em termelétricas e a fabricação de produtos como o briquete e o pellet. Assim, aproveitamento energético desses resíduos apresenta-se como uma alternativa sustentável para agregação de valor à cadeia produtiva da madeira, reduzindo impactos ambientais e promovendo a eficiência no uso dos recursos florestais. Entretanto, fatores como alta umidade, baixa densidade aparente e variabilidade nas propriedades físico-químicas podem limitar sua eficiência como biocombustível, exigindo estudos técnicos que avaliem seu desempenho e viabilidade energética.

Diante desse cenário, a análise do potencial energético dos resíduos de serraria como poder calorífico e análise química imediata, torna-se essencial para fundamentar estratégias de aproveitamento mais eficientes, visando o aproveitamento energético a partir de biomassa florestal residual.

Metodologia

Para a realização deste trabalho, foram utilizados resíduos madeireiros em forma de maravalhas obtidos em Serraria, localizada no *campus* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, São João Evangelista. Para as análises químicas imediatas de umidade, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e cinzas, bem como para a determinação do poder calorífico superior e as serragens foram moídas em moinho Wiley, e passadas em peneiras de 40 e 60 mesh, e utilizadas as amostras retidas na peneira de 60 mesh.

Para a determinação da umidade das cascas, foram utilizadas cerca de 1,0 g de serragem moídas (Mu), em cadinhos de porcelana previamente secos e tarados. Os cadinhos com as cascas foram levados à estufa regulada a 102 ± 3 °C, até estabilização da massa. Logo após, foram retirados da estufa e armazenados em dessecador por cerca de 20 minutos para esfriar, e pesados (Ms) para a determinação da umidade em base úmida (Ubu), conforme Equação 1:

$$Ubu = \frac{Mu - Ms}{Mu} * 100$$

Para a determinação dos materiais voláteis (TMV), utilizou-se a serragem (seca na determinação da umidade). Foram levados a mufla previamente aquecida e estabilizada a 950 °C. Primeiramente os cadinhos, tampados, foram colocados na extremidade externa da mufla sobre a porta, onde ficou por dois minutos. Depois foram colocados na entrada da mufla ainda com a porta aberta por mais três minutos, para que os mesmos passassem por um pré-aquecimento. Feito isso, estes foram colocados no interior da mufla por seis minutos, com a porta fechada. Após esse período os cadinhos tampados foram retirados da mufla, e passaram-se para o dessecador por aproximadamente 30 minutos para esfriar a temperatura ambiente. Depois de esfriados, os materiais foram pesados, obtendo-se então a massa de material seco sem a presença de materiais voláteis (Mms). O teor de materiais voláteis da serragem foi calculado pela Equação 2:

$$TMV = \frac{Ms - Mms}{Ms} * 100$$

Para a determinação do teor de cinzas das serragens, as amostras foram levadas à mufla, a 750 °C e destampadas, mantendo-se por um período de 6 horas, e a massa residual de cinzas (Mr) foi determinada em balança de precisão após o resfriamento em dessecador. Aplicou-se a Equação 3 para calcular o teor de cinzas, levando em consideração a massa residual inorgânica resultante da incineração.

$$TCz = \frac{Mr}{Mf} * 100$$

Com base nos parâmetros previamente estabelecidos, calculou-se o teor de carbono fixo (TCF) das cascas por meio da aplicação da Equação 4.

$$TCF = 100 - TMV - TCz$$

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado seguindo as diretrizes da NBR 8633 (ABNT, 1984), empregando a bomba calorimétrica IKA C200, com as amostras devidamente secas em estufa.

Resultados

Os valores médios de umidade em base úmida (Ubu), Teor de materiais voláteis (TMV), Teor de cinzas (TCz) e Teor de carbono fixo (TCF), bem como os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 1. Após análise em bomba calorimétrica foi verificado Poder Calorífico superior de 4615 Kcal/Kg.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Tabela 1 – Valores médios de Umidade em base úmida, Teor de materiais voláteis, Teor de cinzas e Teor de carbono fixo nas serragens

Item	U	Tvol	TCz	TCF
Média	10,25	80,77	0,35	18,88
Desvio	0,02	0,68	0,03	0,68
CV	0,2	0,84	9,34	3,61

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Discussão

A análise imediata de um combustível possibilita determinar as frações que se volatilizam durante a combustão (materiais voláteis), a porção que permanece em estado sólido (carbono fixo) e o teor de resíduos inorgânicos (cinzas) presentes no material (Brito; Barrichelo, 1978). Nesse contexto, os materiais voláteis desempenham papel fundamental no processo de ignição e nas etapas iniciais da combustão da biomassa (Cortez, *et al.*, 2008).

Segundo Cunha *et al.* (1989) destacam que, quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão. Com base nessa premissa, os resultados apresentados na Tabela 1 demonstram que a serragem analisada, com teor médio de umidade (Ubu) de 10,25%, corresponde à umidade de equilíbrio higroscópico com as condições do meio, este valor encontra-se dentro da faixa ideal para uso energético, favorecendo melhor desempenho na combustão e maior eficiência térmica. Além disso, o baixo desvio padrão (0,02) e o coeficiente de variação (0,20%) evidenciam a uniformidade da umidade da amostra, característica que contribui para a padronização do material nos processos de geração de energia.

O teor de materiais voláteis (80,77%) apresentou-se elevado, indicando que a biomassa possui uma fração significativa de componentes que se degradam termicamente com facilidade, favorecendo a ignição rápida e a combustão eficiente. Esse comportamento está de acordo com Pereira *et al.* (2000), que destacam que madeiras com altos teores de voláteis tendem a queimar mais rapidamente. Além disso, os resultados corroboram os estudos de Oliveira *et al.* (2010), os quais apontam que, normalmente, o teor de materiais voláteis é inversamente proporcional ao teor de carbono fixo, observado neste caso em 18,88%. O baixo coeficiente de variação (0,84%) reforça a homogeneidade da composição química da amostra para este parâmetro, característica favorável ao seu aproveitamento energético.

As cinzas são substâncias inorgânicas que não entram em combustão e podem ser constituídas de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe) (Klautau, 2008). Se houver cinzas em alta concentração o poder calorífico pode diminuir e causar perda de energia e sua presença afeta também a transferência de calor, o que pode interferir na logística operacional (Moers *et al.*, 2011). Sendo assim, a amostragem apresentou um baixo teor de cinzas (0,35%), aspecto positivo do ponto de vista energético, pois valores reduzidos minimizam a formação de resíduos sólidos durante a combustão, diminuindo a necessidade de manutenção dos equipamentos e contribuindo para maior eficiência no processo de conversão energética.

O carbono fixo é definido como a quantidade de carbono presente na biomassa, sendo considerado como a massa remanescente após a liberação dos voláteis (Santos, 2009; Moers *et al.*, 2011). Por fim, sabe-se que teores mais elevados de carbono fixo tendem a aumentar o tempo de residência da combustão, podendo influenciar positivamente o poder calorífico superior do material (Costa *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2015). No entanto, a amostra analisada apresentou um teor de carbono fixo de 18,88%, indicando um tempo de queima relativamente curto, também apresentou um baixo coeficiente de variação (3,61%) o que demonstra estabilidade na composição do material, característica importante para previsibilidade do processo energético.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

O poder calorífico superior (PCS) de 4615 kcal/kg conferem com os de Kollmann e Côte (1968), que afirmam que o poder calorífico da madeira seca, sem considerar o erro de cinzas, pode ser tomado com um valor médio de aproximadamente 4.500 kcal/kg. Sendo compatível com valores reportados para resíduos de madeira utilizados na produção de energia térmica (entre 4000 e 5000 kcal/kg). Essa faixa de PCS demonstra que o material pode ser aproveitado eficientemente em sistemas de queima direta, caldeiras ou processos de briquetagem ou pellets, agregando valor a um resíduo frequentemente descartado de forma inadequada.

Conclusão

Os resultados obtidos evidenciam que a serragem analisada apresenta propriedades adequadas para utilização como biocombustível sólido, destacando-se pelo baixo teor de umidade (10,25%), que favorece a combustão eficiente, e pelo elevado teor de materiais voláteis (80,77%), responsável por facilitar a ignição e garantir boa liberação de energia no início do processo. A baixa presença de cinzas (0,35%) contribui para a redução de resíduos sólidos durante a combustão, minimizando problemas operacionais e melhorando a eficiência energética. Embora o teor de carbono fixo (18,88%) indique um tempo de queima relativamente curto, sua estabilidade demonstra previsibilidade no comportamento do combustível durante a conversão energética. O poder calorífico superior de 4615 kcal/kg confirma o potencial da serragem para aplicação em sistemas de queima direta, caldeiras ou na produção de briquetes e pellets, configurando-se como alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos de serraria, reduzindo desperdícios e contribuindo para a diversificação da matriz energética

Referências

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Projeto PNUD 00/20. Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado. Curitiba, 2009, p.35.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F.; MIGLIORINI, A. J.; MURAMOTO, M. C. Análise da Produção Energética e de Carvão Vegetal de Espécies de Eucalipto. IPEF, n.23, p.53-56, abr.1983.
- CORTEZ, L. A.B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. Revista Biomassa para energia. Campinas, SP: Unicamp, 732 p., 2008.
- COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; FREITAS, A. J.; et al. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. Nativa, Sinop, v. 5, n. 6, p. 456-461, 2017.
- CUNHA, M. P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z. B.; BARBOSA, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais..., v.2, São Carlos, 1989, p. 93-121.
- EOM, I. Y. *et al.* Characterization of primary thermal degradation features of lignocellulosic biomass after removal of inorganics metals by diverse solvents. *Bioresource Technology*, Essex, v. 102, n. 03, p. 3437-3444, Mar. 2011.
- KLAUTAU, J. P von. Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo cocorrente para secagem de grãos. Curitiba, 2008, 192p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2008.
- KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. Principles of wood science and technology, 2 vol. Berlin: Springer Verlag, 1968.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

MOERS, E. M.; VIEIRA, A. C.; FERNANDES, D. M.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A. Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. I COLASSA – Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental, Anais... Foz do Iguaçu, 2011.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Revista Scientia Florestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p 431-439, set. 2010.

PEREIRA, J. C.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas Documentos, 38).

SAIDUR, R. *et al.* A review on a biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, New York, v. 15, n. 5, p. 2262-2289, June, 2011.

SANTOS, J. M. C. F. Avaliação da biomassa de plantas bioenergéticas. 2009, 79p. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e ao IFMG pela estrutura para condução das análises químicas.