

ANÁLISE COMPARATIVA DAS BIOMASSAS JUCÁ, CATINGUEIRA E NIM VISANDO POTENCIAIS APLICAÇÕES ENERGÉTICAS

Maurício D. Lima¹; Josafá de S. G. Junior²; Eva F. de Sousa³; Francisca I. P. de Oliveira⁴; Kennedy R. G. Coimbra⁵; Maria A. de S. Rios²

¹Mestrando em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará (mauricio.dorneles@alu.ufc.br);

²Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará (alexandrarios@ufc.br);

³Graduanda em Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal do Ceará (evafurtadodesousa@alu.ufc.br);

⁴Pesquisadora do Grupo de Inovações Tecnológicas e Especialidades Químicas, Universidade Federal do Ceará (imylena@yahoo.com.br);

⁵Mestrando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará (kennedy.rgc@gmail.com)

Palavras-Chave: Biomassa, Potencial energético, Poder Calorífico Superior.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável e os estudos com a utilização de biomassa para geração de energia têm sido uma tendência mundial, devido à preocupação com o aquecimento global e os impactos negativos causados pelos combustíveis fósseis. Assim, a busca por fontes alternativas, renováveis e sustentáveis de energia que atendam à demanda mundial é uma necessidade urgente, logo, a produção de briquetes tornou-se uma alternativa energética muito atrativa, sendo considerado um forte substituto da lenha (Arpia *et al.*, 2021; Di Fraia *et al.*, 2020).

No mercado de briquetes observou-se um aumento na produção e no consumo, segundo dados da Associação Brasileira de Biomassa e Energia Renovável (ABRACE), a produção de briquetes de biomassa no Brasil alcançou cerca de 1,2 milhão de toneladas em 2019, com previsão de crescimento nos próximos anos (ABRACE, 2020). Esse aumento é impulsionado pelo potencial energético da biomassa disponível no país, bem como por políticas públicas e incentivos fiscais que visam estimular o uso de fontes renováveis de energia (Pinheiro *et al.*, 2020).

O Brasil é o 3º maior gerador de energia renovável do mundo, dados de um estudo realizado pela Agência Internacional de Energia – IEA (2019), desponta o país como a nação com o maior potencial de produção bioenergética. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, entre as vantagens competitivas da matriz energética brasileira se destacam a abundância de biodiversidade e de recursos naturais, potencial de energia renovável não aproveitado e setores com alta competitividade como o agropecuário e a indústria de insumos básicos.

O Jucá (*Caesalpinia ferrea*), a Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis Tul*) e o Nim (*Azadirachta indica A. Juss*) são espécies que podem ser encontradas amplamente no semiárido Nordeste, caracterizando-se especialmente por resistir a longos períodos secos e não necessitar de um solo especial para desenvolver-se (EMBRAPA, 2020). Por possuir grande abundância nesse tipo de ambiente, isso as fazem ter um enorme potencial como matéria-prima para biomassa, além de ser mais uma alternativa para o Sistema Energético presente no Nordeste.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo o estudo e aproveitamento dessas matérias-primas, que podem ser muito bem utilizadas para geração de energia elétrica de forma limpa e sustentável. Os levantamentos feitos envolveram testes de diferenciação dos materiais e análises quantitativas para avaliar o comportamento destes como fonte de energia. Todas as amostras passaram pelos seguintes processos experimentais: determinação do teor de umidade, voláteis, cinzas e poder calorífico superior.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram gentilmente cedidas pelo Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado no Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), Campus do Pici-CE, onde foram realizados os experimentos.

Determinação do teor de umidade

Para estabelecer o teor de umidade usou-se o procedimento experimental da norma ABNT NBR 14929 (Carvão Vegetal – Análise Imediata). Para isso, mediu-se o peso úmido de cada matéria-prima por meio de uma balança (marca: MARTE; modelo: ID200) para determinação de umidade. A balança possui um medidor de umidade com fonte de calor infravermelho produzido por resistência encapsulada em quartzo. Em seguida iniciou-se o processo de determinação do teor de umidade em base seca na madeira, que é obtido por meio da balança anteriormente mencionada, e que possui uma resistência elétrica que aquece a amostra até que sua massa se torne constante. Os teores de umidade são obtidos pela diferença entre os pesos da amostra, antes e após a retirada de umidade, por meio da Equação 1.

$$Tu = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \% \quad (1)$$

Tu = Teor de umidade da amostra, em porcentagem (% bu);

m_1 = massa inicial da amostra, antes da secagem (g);

m_2 = massa final da amostra, após a secagem(g).

Determinação do teor de voláteis

Retirada a umidade da amostra, o passo seguinte foi colocar a mesma em um cadinho de platina e logo depois levar ao Forno Mufla (marca: QUIMIS). O procedimento consistiu em deixar o cadinho no Forno Mufla até que este atingisse 900 °C, durante 3 (três) minutos com a tampa aberta e, em seguida, durante 7 (sete) minutos com a tampa fechada, de acordo com as normas ABNT NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e ASTM D3175 (Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke). Logo após, a amostra foi colocada em um dessecador. Em seguida, foi realizada a pesagem das amostras e obtido o Teor de voláteis, que é estabelecido pela diferença entre as massas antes e após o aquecimento em Forno Mufla, Equação 2:

$$Tv = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \% \quad (2)$$

Tv = Teor de voláteis, em porcentagem (%);

m_1 = massa da amostra sem umidade (g);

m_2 = massa da amostra após aquecimento em Forno Mufla (g).

Determinação do teor de cinzas

A etapa seguinte consistiu na determinação do teor de cinzas, conforme descrito nas normas ABNT NBR 13999 e ASTM D3174 (Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke). Foi pesada 5 g de cada amostra. Posteriormente, foram inseridas no Forno Mufla, a uma temperatura de 500 °C, durante 4 horas. Após esta etapa, a amostra foi colocada no dessecador para que houvesse resfriamento e logo depois fosse conferido o peso. O teor de cinzas foi determinado utilizando a Equação 3.

$$Tc = \frac{m_3 - m_4}{m_3} * 100 \% \quad (3)$$

Tc = Teor de cinzas (%);

m_3 = massa da amostra sem umidade (g);

m_4 = massa da amostra após aquecimento em Forno Mufla (g).

Determinação do poder calorífico superior

Conforme a norma DIN EN 14918:2014 Solid biofuels – Determination of calorific value, foi determinado o poder calorífico superior das amostras. Estas foram introduzidas em uma bomba calorimétrica (marca: IKA; modelo: C200), que consiste dos seguintes componentes: Célula de medição C 200, Frasco de decomposição C 5010, Estação de preenchimento de oxigênio C 248, consumíveis para calibrações e instalação. Todas as análises foram realizadas em quadruplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises foram estabelecidos de acordo com as metodologias aplicadas e discutidas anteriormente para os teores de umidade, voláteis, cinzas e poder calorífico superior.

Teor de umidade

O teor de umidade para cada uma das 3 amostras está apresentado na Tabela 1. Os valores encontrados foram em média de 9,7% para o Jucá, 9,0% para a Catingueira e 12,37% para o Nim. Todos os valores foram avaliados em base úmida. Nas madeiras utilizadas para fins energéticos, além de variações aleatórias como diâmetro e idade, ocorrem variações em função de características intrínsecas como o poder calorífico e densidade, que interferem no rendimento energético. Além destas, a umidade é a característica que pode ser quantificada e que afeta de forma direta a quantidade útil de energia, já que o poder calorífico é inversamente proporcional a umidade da madeira, ou seja, quanto maior sua umidade, menor a energia liberada durante a queima (Lima *et al.*, 2008).

Tabela 1 - Análise do Teor de Umidade

Matéria-Prima	Teor de Umidade		
	Quadruplicata	Média	Desvio Padrão
Jucá	9,9%	9,7%	0,96%
	10,9%		
	9,4%		
	8,6%		
Catingueira	9,0%	9,0%	1,10%
	10,4%		
	7,7%		
	9,0%		
Nim	11,4%	12,37%	1,08%
	11,5%		
	13,5%		
	13,1%		

Teor de voláteis

Para cada amostra foram analisados os teores de voláteis, que são respectivamente, 86,65% para o Jucá, 83,35% para a Catingueira e 81,22%. De acordo com Maciel Filho (2023), são esperados valores elevados para o teor de volátil quando o intuito de aplicação da biomassa é termoquímico, que é o caso das 3 amostras de briquetes que obtiveram resultados entre 81,22% e 86,65% ou seja, quanto maior o valor de materiais voláteis, mais reativo é o combustível sólido. O material volátil interfere na ignição, haja vista que quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e a ignição dele.

Tabela 2 – Análise do Teor de Voláteis

Matéria-Prima	Teor de Voláteis		
	Quadruplicata	Média	Desvio Padrão
Jucá	86,36%	86,65%	3,23%
	82,50%		
	87,44%		
	90,31%		
Catingueira	84,30%	83,35%	1,61%
	81,07%		
	84,67%		
	83,36%		
Nim	83,83%	81,22%	4,23%
	81,7%		
	84,69%		
	75,31%		

Fonte: Autores (2024).

Teor de cinzas

Os teores de cinzas encontrados foram de 1,88% para o Jucá, 2,93% para a Catingueira e 1,94% para o Nim. Portanto, o Jucá apresentou o menor teor de cinzas, Tabela 3. Os resíduos provenientes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos são caracterizados como teor de cinzas. Dessa forma, as cinzas são provenientes da combustão da biomassa, que se dá a elevadas temperaturas, fazendo-se necessário o conhecimento do material refratário (cadinho) com o propósito de evitar procedimentos inapropriados, como o ataque ao material refratário pelas cinzas, que podem ser evitados escolhendo um material com baixa porosidade, para que as cinzas não causem rachaduras na superfície deste. Quando há alta concentração do teor de cinzas ocorre uma diminuição do poder calorífico, podendo ainda causar perda de energia e afetar a transferência de calor. Valores de cinza acima de 7% não são adequados para combustão (Cavalcanti, 2020). Os resultados mostram que as três amostras apresentaram resultados consistentes quanto ao teor de cinzas.

Tabela 3 – Análise do Teor de Cinzas

Matéria-Prima	Teor de Cinzas		
	Quadruplicata	Média	Desvio Padrão
Jucá	2,18%	1,88%	0,30%
	1,94%		
	1,94%		
	1,46%		
Catingueira	2,86%	2,92%	0,46%
	2,85%		
	3,56%		
	2,44%		
Nim	2,01%	1,93%	0,45%
	2,46%		
	1,92%		
	1,36%		

Fonte: Autores (2024).

Poder calorífico superior (PCS)

Os valores de Poder Calorífico Superior das amostras foram, respectivamente, de 17,71 MJ·kg⁻¹ para o Jucá, 16,52 MJ·kg⁻¹ para a Catingueira e 16,44 MJ·kg⁻¹ para o Nim. De acordo com Silva (2023), o PCS representa o calor liberado, ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da transferência de calor do combustível. O poder calorífico é, ainda, um parâmetro que mede a eficiência energética e serve como importante indicador para se conhecer a capacidade calorífica de uma determinada espécie, assim, o Jucá foi a amostra que obteve o maior poder calorífico superior, Tabela 4.

Tabela 4 – Análise do Poder Calorífico Superior

Matéria-Prima	Poder Calorífico Superior		
	MJ·kg ⁻¹	Média	Desvio Padrão
Jucá	17,989	17,71	0,75
	16,922		
	18,637		
	17,299		
Catingueira	17,128	16,52	0,42
	16,165		
	16,299		
	16,512		
Nim	17,313	16,44	0,59
	15,949		
	16,317		
	16,208		

Fonte: Autores (2024).

CONCLUSÕES

Dentre as três amostras o Jucá foi o que mostrou melhor potencial energético, já que apresentou baixo teor de umidade (9,7%), maior teor de voláteis (86,65%), menor teor de cinzas (1,88%) e maior poder calorífico superior (17,71 MJ·kg⁻¹).

Ao comparar os resultados encontrados para o Nim e Catingueira, observa-se um teor de umidade de 9,0% para este último, bem como um maior teor de voláteis (83,35%). Em relação ao teor de cinzas a Catingueira apresentou 2,92% e o Nim 1,93%. Notou-se, portanto, que a Catingueira apresenta um maior teor de cinzas, o que a torna menos aconselhável para uso. Já o poder calorífico superior apresentou valores próximos, para a Catingueira e o Nim, 16,52 MJ·kg⁻¹ e 16,44 MJ·kg⁻¹, respectivamente.

Ao fazer a análise e caracterização das amostras de Jucá, Catingueira e Nim pôde-se comprovadamente inferir que as três biomassas possuem condições de serem usadas como fonte de energia, apontado para o grande potencial que essas biomassas possuem, tendo em vista que explorar novas plantas que possam servir como alternativas viáveis e sustentáveis é essencial para mitigar e reduzir significativamente a pressão sobre as florestas nativas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (313647/2020-8; 310037/2023-9; 402757/2023-8); FUNCAP (PS1-00186-00255.01.00/21), FINEP, CAPES (Código de Financiamento 001) e NUTEC.

Referências

ABNT NBR 8112. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8112. **Carvão Vegetal – Análise Imediata** 1986.

ABNT NBR 14929. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14929. **Madeira – Determinação do Teor de Cavacos – Método por secagem em Estufa** 2003..

ABNT NBR 13999. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13999. **Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a Incineração a 525 °C** 2013.

ABRACE - Associação Brasileira de Biomassa e Energia Renovável. Anuário da Biomassa 2020: Panorama do setor de bioenergia no Brasil. Disponível em: <http://abrace.org.br/wpcontent/uploads/2021/01/Anuario-da-Biomassa-2020.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

ASTM D3174. **Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal**, ASTM International, West Conshohocken, PA

ASTM D3175. **Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke**, ASTM International, West Conshohocken, PA

ARPIA, A. A. *et al.* Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, v. 403, p. 126233, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126233>. Acesso em: 15 maio 2023.

CAVALCANTI, I. L. R. **Produção e avaliação energética de briquetes a partir do resíduo da poda de espécies arbóreas de João pessoa**. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Energias Renováveis. Universidade Federal da Paraíba -João Pessoa, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18529>. Acesso em: 15 maio 2023.

DI FRAIA, S. *et al.* Energy potential of residual biomass from agro-industry in a Mediterranean region of southern Italy (Campania). **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p.124085, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124085>. Acesso em: 15 maio 2023.

DIN EN 14918. **Solid biofuels - Determination of calorific value 2014**. Homepage. Disponível em: <http://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/nmp/standards/wdc-beuth:din21:209618205>. Acesso em: 13 de dezembro de 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Agroenergia. Produção de energia com resíduos agropecuários. Brasília: INFOTECA-E, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2563333/producao-de-energia-com-residuos-da-agropecuaria>. Acesso em: 26 abril. 2024.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Balanço Energético Nacional 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 29 de ABRIL de 2024.

MACIEL FILHO, G. F. **Produção e avaliação energética de biocombustível sólido a partir de resíduos orgânicos provenientes de indústria de revestimentos**. 2023. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/27824>. Acesso em: 5 maio 2024.

LIMA, E. A. *et al.* Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira. **Colombo: Embrapa Florestas** (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 220), 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/315901>. Acesso em: 5 maio 2024.

PINHEIRO, D. A. *et al.* Panorama da produção de briquetes de biomassa no Brasil. In: VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2020. Anais. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2020. p. 1879-189

SILVA, A. L. P. **Estudo comparativo do poder calorífico dos briquetes de biomassa: bagaço de cana, mesocarpo de coco e sabugo de milho, com adição de aglutinantes residuais**. 2023. 46 f. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Tecnologia em Produção Sucoalcooleira) - Universidade Federal da Paraíba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/27185/1/ALPS22062023.pdf>. Acesso em: 5 maio 2024.