



ANÁLISE ENERGÉTICA COMPARATIVA DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA PLANTA NIM (AZADIRACHTA INDICA A JUSS.) PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E BRIQUETE

Maria Jennyfer Cavalcante Da Silva¹

Francisco Simão Neto²

Marcus Vinicius Silva Bernardino De Lima³

Ithalo Luz Mota⁴

Ada Amelia Sanders Lopes⁵

RESUMO

A produção de biocombustíveis apresenta-se como uma alternativa para minimizar impactos ambientais significativos relacionados ao meio ambiente, energia e também economia, tendo-se como destaque a biomassa que pode ser utilizada de diversas formas, como uma fonte alternativa de geração de energia, como em destaque a produção de briquete e biodiesel. Na escala de produção destes biocombustíveis, aspectos como: matéria-prima e condições operacionais estão relacionadas às eficiências energéticas dos processos. O Nim apresenta um potencial tecnológico promissor no Nordeste, em específico no estado do Ceará, com inúmeras aplicações, tais como nas áreas de: cosmetologia, agropecuária, medicinal e também na produção de combustíveis alternativos, através do reaproveitamento dos seus resíduos. Nos editais passados (PIBIC/2020 e PIBIC/2021), a pesquisa do Nim teve como objetivos a etapas iniciais de extração do óleo da semente do Nim, a análise imediata e a produção de combustíveis sólidos, pela técnica da briquetagem, respectivamente. Assim, o presente projeto tem como objetivo investigar a produção de briquete e biodiesel, em escala de bancada, para avaliação do consumo energético das rotas de produção. Estes biocombustíveis serão produzidos e caracterizados e, em seguida seus parâmetros serão otimizados. Os cálculos dos balanços de massa, energia serão realizados para análise dos processos.

Palavras-chave: biocombustível; briquete; biodiesel; Nim.

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IEDS, Discente, jennycavalcante.jc@gmail.com¹

Universidade Federal do Ceará, DEQ/PPGEQ, Discente, simao95@alu.ufc.br²

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IEDS, Discente, marcusbernardino01@gmail.com³

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, IEDS, Discente, ithalo949@gmail.com⁴

UNILAB, IEDS, Docente, ada@unilab.edu.br⁵

INTRODUÇÃO

A produção de biocombustíveis apresenta-se como uma alternativa para minimizar impactos ambientais significativos relacionados ao meio ambiente, energia e economia. Nesse contexto, destaca-se a biomassa que pode ser utilizada de diversas formas, como uma fonte alternativa de geração de energia, na produção de briquete e biodiesel. Na escala de produção destes biocombustíveis, aspectos como: matéria-prima e condições operacionais estão relacionadas às eficiências energéticas dos processos. O Nim apresenta um potencial tecnológico promissor com inúmeras aplicações, tais como nas áreas de: cosmetologia, agropecuária, medicinal e na produção de combustíveis alternativos, através do reaproveitamento dos seus resíduos. O projeto em questão contribuirá com o segmento de biocombustíveis por meio do desenvolvimento de metodologias otimizadas e cálculos termodinâmicos para adequação de biomassas, para inserção em processos produtivos de alto valor agregado. Este seguimento poderá ser aplicado no desenvolvimento da região do Maciço de Baturité, espera-se com esta versatilidade, destes processos de produção, contribuir com o desenvolvimento do Estado do Ceará, por meio da inovação tecnológica e da valorização de biorecursos naturais da região Nordeste. Por apresentar um potencial significativo, foram feitas algumas blendas de briquete com Macaúba, para que houvesse uma otimização e análises imediatas, a partir destas análises foi possível saber que os objetivos da primeira parte desta pesquisa foram alcançados.

METODOLOGIA

Produção do Briquete

Primeiramente foi realizada a retirada da semente que pode estar na árvore ou até mesmo já caídas no chão. Logo após é feito o processo de secagem e preparo da biomassa. A secagem é feita ao sol, até que a semente esteja completamente seca e seja possível separar com facilidade a casca da semente que fica no interior. Após a separação, a casca do Nim é utilizada para produção de briquete, de modo que utilizando uma balança analítica são pesados 20g de casca, em seguida posiciona-se em um molde (base, pistão e tubo), e é levado a uma prensa hidráulica/briquetadeira na qual ficou durante 5 minutos a uma pressão de 5atm em cima do molde que contém a biomassa. Após esse processo feito, desforma-se a biomassa sólida e já está pronta para ser analisada.

Blendas produzidas

Primeiramente foi escolhida a Macaúba para que seja produzida a blenda com a casca da semente de Nim. Foram produzidos 3 briquetes, em uma proporção de 50% Nim e 50% Macaúba, sendo utilizadas o Epicarpo da Macaúba, a Polpa da Macaúba e a Torta da polpa da Macaúba após extração de óleo.

Técnica de Análise Imediata

A partir da produção dos novos briquetes fez-se a análise imediata, na qual foram analisadas o teor de umidade, cinzas e voláteis utilizando a seguinte metodologia:

- Análise do teor de umidade

Colocou-se um cadinho de porcelana sem tampa na estufa os cadinhos em seu interior a uma temperatura $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 1 hora. Em seguida, retirou-se o cadinho da estufa e o mesmo foi posto em um dessecador pelo tempo necessário para atingir a temperatura ambiente, que ocorre em cerca de 30 min. Alcançado a temperatura ambiente, foi medido e anotado a massa do cadinho. Com a massa do cadinho constante, o passo seguinte foi pesar aproximadamente 1,0 g do briquete no cadinho, o valor da massa foi anotado e corresponde a massa exata da amostra úmida. Assim, o cadinho com a massa úmida foi colocado na estufa a $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas. Passado este tempo retirou-se o cadinho da estufa e o mesmo foi posto em um dessecador pelo tempo necessário para atingir a temperatura ambiente, que ocorre em cerca de 30 min. O cadinho com a amostra foi pesado e sua massa anotada. Para obter a massa da amostra seca foi

subtraído a massa do cadinho. Utilizando a Equação 01, a seguir:

$$\text{Equação 01 - TU(\%)} = ((\text{MAu} - \text{MAS}) / \text{MAu}) \times 100$$

- Análise do teor de cinzas

Foram colocados 2 cadinhos de porcelana vazios na mufla durante 1 hora à uma temperatura de 575° graus sem tampa, em seguida foram levados ao dessecador para esfriar sem que haja umidade durante 40 minutos, logo em seguida ele é levado a uma balança analítica na qual foi medido e anotado a massa do cadinho, e é colocado 1g de amostra de cada briquete em base seca, em seguida são levados a mufla há uma temperatura 575° graus durante 4 horas, e logo após serem retirados vão novamente voltar ao dessecador por mais 40 minutos e em seguida serão pesados novamente na balança analítica foi medido e anotado a massa do cadinho com amostra desta vez o cadinho com tampa afim de se obter a massa de cinzas totais foi subtraído a massa do cadinho.

Utilizando a Equação 02, a seguir:

$$\text{Equação 02 - TCt(\%)} = (\text{MCt} / \text{MAS}) \times 100 = ((\text{MCt} \times 100) / (\text{MAu} \times \text{Ts})) \times 100$$

- Análise do teor de materiais voláteis

O passo inicial, foi medir e anotar a massa de 2 cadinhos de porcelana. Em seguida, foi adicionado aos cadinhos, 1 g do briquete em base seca, e suas massas também foram registradas. Assim, os cadinhos foram levados até o interior da mufla, onde permaneceram por 7 minutos na temperatura de 950°C. O passo seguinte foi inserir o cadinho em um dessecador pelo tempo necessário para atingir a temperatura ambiente. Alcançado a temperatura ambiente, foi medido e anotado a massa do cadinho com amostra. Por fim, para determinar o teor de materiais voláteis foi utilizado a Equação 03, a seguir, de acordo com a ASTM D3175.

$$\text{Equação 03 - TMV(\%)} = ((\text{Mi} - \text{Mf}) / (\text{Mi} - \text{Mc})) \times 100$$

- Extração de Óleo por método de Soxhlet

Primeiramente ocorre a extração do óleo de Nim a partir do método de Soxhle, utilizando 135g de casca de Nim foi colocado em um liquidificador para ser triturado e obtido uma granulometria menor para facilitar a extração do óleo, após este processo as cascas trituradas passaram a pesar 132g, em seguida elas foram colocados em um cartucho previamente preparado de um papel filtro, que foi levado ao extrator de Soxhlet e utilizando 600 mL de etanol como solvente, utilizando um sistema de refluxo com manta aquecedora espera-se que após 5 ciclos deste processo já se tenha extraído maior parte do óleo na qual está em uma mistura com o solvente, em seguida este produto é levado a outra manta aquecedora para que seja feita a separação do óleo e do etanol. Após este processo é possível obter cerca de 50% do etanol de volta que pode ser reutilizado novamente e é obtido o óleo de Nim.

- Hidrolise enzimática do óleo

A hidrolise é baseada na reação química entre um óleo ou gordura com água, no final do processo ocorre a formação de glicerina e ácidos graxos (Figura 3). Essa etapa é empregada para aumentar propositalmente a acidez do óleo, ou seja, mesmo que a gordura utilizada seja de baixa qualidade, baixa acidez ou tenha umidade elevada, o produto final da hidrólise terá uma alta acidez (WANCURA et al., 2019, 2021). Outra vantagem dessa metodologia, é que a glicerina formada contém uma maior pureza que a glicerina obtida através da transesterificação (COSTA et al., 2020; POURZOLFAGHAR et al., 2016).

Logo após a etapa de hidrólise e remoção da glicerina, ocorre a esterificação dos ácidos graxos formados. Esse processo gera um biodiesel de alta pureza, ou seja, não há a necessidade de etapas de lavagem. Vale ressaltar que a água que é formada ao final do processo pode ser reutilizada na etapa de hidrolise (POURZOLFAGHAR et al., 2016; WANCURA et al., 2021).

- Esterificação enzimática

A reação de esterificação refere-se à formação de ésteres a partir da reação de um ácido graxo com um

álcool, como subproduto têm-se a formação de água. Esse método apresenta vantagens em relação ao método de transesterificação, uma vez que diferem no precursor utilizado (ácido graxo ao invés de triglicerídeos) tornando-o mais vantajoso por conta da possibilidade de utilizar matérias primas de baixo valor agregado (como óleos residuais e borras ácidas), outro aspecto positivo é a não formação de glicerol. A maior desvantagem desse método é que o rendimento está associado ao nível de acidez da matéria-prima, além disso, há pouca disponibilidade de resíduos ácidos o que inviabiliza a sua aplicação em larga escala (CAO et al., 2021; MANDARI; DEVARAI, 2021; MUANRUKSA; KAEWKANNETRA, 2020).

Após obter os reagentes de ácidos graxo de óleo de Nim eles foram adicionados ao tubo de ensaio foram levados a incubadora durante 6h a uma velocidade de 190 RPM e uma temperatura de 40°. Em seguida, retirando as amostras da incubadora leva-se para uma balança na qual ele é pesado em dois Erlenmeyer aproximadamente 0,1 g da amostra com enzima e em dois outros Erlenmeyer aproximadamente 0,1g da amostra branca. Feito isto em uma proveta é colocado 2,5 ml de que é adicionado no Erlenmeyer juntamente com 3 gotas de fenolftaleína.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentação dos resultados obtidos na análise imediata das biomassas estudadas. Adicionalmente, foram incluídos os dados de análises imediatas de outras biomassas, realizadas por diferentes pesquisadores, com o propósito de fornecer valores de referência que permitam comparar as características das biomassas analisadas neste trabalho.

Briquete NIM: Umidade: $11,47 \pm 0,36$ Cinzas: $4,33 \pm 0,57$ Materiais Volateis: $95,08 \pm 2,23$ Carbono fixo: $2,94 \pm 1,66$ Poder Calorífico Superior(MJ/Kg): 15,82878 Referência: RIBEIRO FILHO, Manoel Nazareno 2023.

Casca Nim + Epicarpo Macaúba: Umidade: $11,63 \pm 0,3$ Cinzas: $4,54 \pm 0,27$ Materiais Volateis: $85,37 \pm 0,25$ Carbono fixo: $10,09 \pm 0,09$ Poder Calorífico Superior(MJ/Kg): 16,84159 Referência: Este trabalho.

Casca Nim + Polpa Macaúba Pós-Extração: Umidade: $11,81 \pm 0,34$ Cinzas: $3,55 \pm 0,37$ Materiais Volateis: $85,39 \pm 0,07$ Carbono fixo: $11,07 \pm 0,29$ Poder Calorífico Superior(MJ/Kg): 17,19896 Referência: Este trabalho.

Casca Nim + Torta Amêndoa Macaúba Pós-Extração: Umidade: $12,96 \pm 0,86$ Cinzas: $12,96 \pm 0,86$ Materiais Volateis: $84,1 \pm 0,62$ Carbono fixo: $12,56 \pm 0,39$ Poder Calorífico Superior(MJ/Kg): 17,52635 Referência: Este trabalho.

Casca da Semente do Nim : Umidade: $12,68 \pm 0,16$ Cinzas: $3,80 \pm 0,44$ Materiais Volateis: $81,76 \pm 1,30$ Carbono fixo: $14,44 \pm 1,74$ Poder Calorífico Superior(MJ/Kg): 17,82272 Referência: SIMÃO NETO, Francisco (2021).

Madeira do Nim : Umidade: 7,33 Cinzas: 0,46 Materiais Volateis: 82,29 Carbono fixo: 17,25 Referência: (SANTANA et. al, 2020).

Folha do Nim: Umidade: 10,4 Cinzas: 7,41 Materiais Volateis: 92,59 Carbono fixo: 24,82 Referência FERNANDES, 2018);

Resultados obtidos após processo de preparação do biodiesel:

Amostra 1:

M(g) : 01014

V(mL): 0,2

Índice de acidez (mgKOH/g): 10,96

Conversão (%): 79,57

Amostra 2:

M(g) : 01015

V(mL): 0,2

Índice de acidez (mgKOH/g): 10,95

Conversão (%): 79,68

CONVERSÃO: 79,6

Desvio padrão: 0,08

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi concluído com êxito na produção dos biocombustíveis (briquete e biodiesel).

Na primeira etapa do projeto produzimos o briquete (combustível sólido) através das blendas de briquetes utilizando como matéria prima as cascas das sementes da planta Nim (*Azadirachta indica*) com os resultados obtidos através das análises das blendas de Nim, briquete casca Nim + epicarpo Macaúba, casca Nim + polpa Macaúba pós-extração e casca Nim + torta amêndoa Macaúba pós-extração constatou-se que as três amostras têm um grande potencial para uso energético e o fato da possibilidade de mistura com outras biomassas, torna ainda mais interessante o uso destas como fonte de energia renovável. A produção da blenda apresentou resultados positivos, com o teor de cinzas dentro da faixa esperada, evidenciando que é viável combinar diferentes biomassas para criar um combustível mais eficiente. Em conclusão, o estudo e desenvolvimento de novas fontes de energia limpa são fundamentais para diversificar a matriz energética brasileira, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e assegurando um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Na segunda e última etapa do projeto otimizamos a produção do briquete e iniciamos a produção do biodiesel (combustível líquido). A produção de óleo de Nim bem como o rendimento do óleo em relação a dados da literatura mostrou-se bem avaliada, estimando-se assim, a extração por meio do equipamento Soxhlet como satisfatória. A conversão foi de 79,6% e os parâmetros, como o índice de acidez, encontram-se na faixa encontrada por outros autores que também trabalham com extração do mesmo óleo. Para estudos de extração de óleo vegetais, como o do NIM, a análise avaliativa do melhor rendimento em relação às condições reacionais seria a alteração do peso da semente, o volume de hexano e o tempo de reação, comparando rendimentos para obter uma condição de extração próxima do ideal para esta oleaginosa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UNILAB e ao IEDS pelas oportunidades e pela infraestrutura que foram fundamentais para a realização da pesquisa.

Agradece-se à FUNCAP pela concessão da bolsa, que viabilizou o desenvolvimento científico deste trabalho.

Também se expressa gratidão ao Grupo de Extensão e Pesquisa em Energia e Meio Ambiente (GEPEMA/UNILAB) pelo auxílio prestado, e ao Grupo de Inovações Tecnológicas e Especialidades Químicas (GRINTEQUI/UFC) pelo suporte fornecido para a execução das análises que compõem este trabalho.

REFERÊNCIAS

ANTWI-BOASIAKO C, GLALAH M. Physico-combustion characteristics and suitability of six carbonized tropical hardwoods as biofuels for domestic and industrial applications. *Biomass and Bioenergy*. Out 2021.

AYINDE, A. A.; MORAKINYO, O. M.; SRIDHAR, M. K. C. Repellency and larvicidal activities of *Azadirachta*



- indica seed oil on *Anopheles gambiae* in Nigeria. *Heliyon*, 49 v. 6, n. 5, p. 1-7, 1 maio 2020.
- AYOOLA, A. A. et al. A Search for Alternative Solvent To Hexane During Neem Oil Extraction. *International Journal of Science and Technology*, v. 4, n. 4, p. 66-70, abr. 2014.
- AZEVEDO GT, NOVAES AB, AZEVEDO GB, SILVA HF. Desenvolvimento de mudas de nim indiano sob diferentes níveis de sombreamento. *Floresta E Ambiente* Jun 2015.
- BARMAN, P.; AHMED, N.; CHAKRABORTY, D. Neem - A Cynosure of Modern Medicine: A Review. *International Journal of Livestock Research*, v. 9, n. 2, p. 1-7, 1 jan. 2019.
- BELTRAMI F., FONTINI F., GROSSI L. (2021). The value of carbon emission reduction induced by renewable energy sources in the Italian power market. Working Papers 04/2021, University of Verona, Department of Economics.
- BISHT VK, UNİYAL RC, PATHAK JM, DHUTRAJ SB. Seeds of *azadirachta indica* A. juss: orthodox or recalcitrant? *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: science*. 7 jun 2021.
- BORKOTOKY S, BANERJEE M. A computational prediction of SARS-CoV-2 structural protein inhibitors from *Azadirachta indica* (Neem). *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*. 11 jun 2020.
- BRAGA TM, ROCHA L, CHUNG TY, OLIVEIRA RF, PINHO C, OLIVEIRA AI, MORGADO J, CRUZ A. *Azadirachta indica* A. juss. in vivo toxicity—an updated review. *Molecules*. 6 jan 2021.
- CABRAL, SIMYÃO MACÊDO. Extração e caracterização química do óleo de sementes de nim (*azadirachta indica*). 2023. 80 f. Tcc (graduação) - Curso de Química, Unidade Federal do Tocantins, Araguaina, 2024.
- CARVALHO, Leonard et al. Study of the potential of Neem oil (*Azadirachta Indica* A. Juss) as raw material for the production of methyl esters. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 37411 37420, 2020.
- CARVALHO, Natália et al. Caracterização física e química da biomassa usada como combustível sólido em uma caldeira. *Química Nova*, 2020.
- CHAUDHARY, M. F. et al. Neem oil. In: INAMUDDIN; BODDULA, R.; ASIRI, A. M. (org.). *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science*. Elsevier, 2021.
- CLEYTON DOS SANTOS SOUZA: Conceptualization, Data, curation, Formal analysis, Research, Original writing, Writing - review and editing. POLIANA COQUEIRO DIAS ARAÚJO: Conceptualization, Resources, Methodology, Analysis .Writing - review and editing. DANDARA YASMIN BONFIM DE OLIVEIRA SILVA: Statistical analysis, Figures and graphs, review and editing.
- OJEWUMI, M. E. et al. Central Composite Design for Solvent Extraction of Oil from Neem (*Azadirachta indica*) seed. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 1107, n. 1, p. 1-14, 2021.
- RAZA, A, SYED J, MUHAMMAD ALI F, et al. Incidence of Vitamin D Deficiency in Different Seasons in the Adult Karachi Population Presenting in the Medical Outpatient Department with Generalized Body Ache. *Cureus*, v. 11, n. 7, p. e5167, 2019.
- RIBEIRO FILHO, Manoel Nazareno. Estudo comparativo do potencial energético das cascas das Sementes da planta Nim *Azadirachta Indica* e das Amêndoas do Coco Babaçu *Attlea Speciosa* Mart. Para Produção de Briquete. 2023.
- SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R.M. Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal of Brazilian Chemical Society*, v.9, p.199-210, 1998
- SIMÃO NETO, F.; MELO NETA, M. M. F ; SOUSA, A. S.; DAMASCENO, L. ; SOUSA, B. ; MEDEIROS, S. ; MELO, R. F. ; LOPES, A. A. S. ; SANTOS, J. C. S. ; RIOS, M. A. S. Analysis of the Fuel Properties of the Seed Shell of the Neem Plant (*Azadirachta indica*). *PROCESSES*, v. 11, p. 2442, 2023.