MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DA MACRÓFITA *EICHHORNIA CRASSIPES* (AGUAPÉ)

Giulia Lopes (PIC/UEM), Maria Clara Pieri Silio (PIC/UEM), Willian Dimas Pompeo Siqueira (Coorientador), Leandro Vitor Pavão (Orientador). E-mail: lvpavao2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Química / Modelagem, Simulação, Síntese, Otimização e Controle de Processos.

Palavras-chave: *Eichhornia crassipes*; Biocombustíveis; Simulação de processos.

RESUMO

A macrófita *Eichhornia crassipes* (aguapé) apresenta elevada proliferação em corpos hídricos eutrofizados de regiões tropicais, podendo gerar grandes volumes de biomassa. Nesse contexto, sua conversão em biocombustíveis constitui uma alternativa para o aproveitamento energético dessa biomassa. Este trabalho teve como objetivo modelar e simular duas rotas de valorização do aguapé para a produção de biodiesel e biogás, considerando a produtividade média de 1 hectare. Para a produção de biodiesel, foram implementados em *Python* os balanços de massa referentes à extração lipídica por *Soxhlet* e maceração e à posterior transesterificação com metanol e NaOH. A extração *Soxhlet* apresentou maior produtividade de óleo que a maceração, enquanto o maior rendimento reacional considerado, de 88,21%, correspondeu à razão molar metanol:óleo de 6:1. Para a produção de biogás, a digestão anaeróbia foi simulada no *Aspen Plus*, resultando em uma corrente gasosa com frações molares de 53,3% de CH_4 e 41,2% de CO_2. Os resultados evidenciam o potencial do aguapé como matéria-prima para diferentes rotas de produção de biocombustíveis.

INTRODUÇÃO

A macrófita *Eichhornia crassipes* (aguapé) apresenta elevada capacidade de crescimento e proliferação em ambientes aquáticos, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, seu desenvolvimento excessivo pode demandar ações recorrentes de remoção e manejo da biomassa. No Sul do Brasil, sua ocorrência em sistemas aquáticos e unidades de tratamento de efluentes pode gerar volumes significativos de biomassa residual, cuja destinação ainda representa um desafio ambiental e operacional (MEES, 2006; ROSA *et al.*, 2018). Nesse contexto, seu aproveitamento energético surge como uma alternativa para agregar valor à biomassa removida, haja vista que a fração lipídica pode ser utilizada para a produção de biodiesel e os polímeros estruturais à digestão anaeróbia para

produção de biogás (GANGULY; CHATTERJEE; DEY, 2012; BALLENGHIEN *et al.*, 2024).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo modelar e simular duas rotas de valorização do aguapé para a produção de biodiesel e biogás. A rota de biodiesel foi implementada em *Python*, considerando diferentes métodos de extração lipídica e razões molares metanol:óleo, enquanto a produção de biogás por digestão anaeróbia foi simulada no *Aspen Plus*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para ambas as rotas de conversão, considerou-se uma alimentação de 1000 kg/dia de aguapé, com 90% de umidade, correspondente à produtividade média adotada para 1 hectare.

A simulação do biogás no Aspen Plus utilizou o modelo termodinâmico NRTL, enquanto a biomassa seca de aguapé foi modelada considerando os componentes (6,89% de lignina, 29,54% de celulose, 45,21% de hemicelulose e 18,36% de cinzas, em frações mássicas) presentes na biblioteca APESV150 BIOFEED (GANGULY; CHATTERJEE; DEY, 2012). Conforme Ballenghien et al. (2024), adotou-se a conversão de 60% da Demanda Química Orgânica (DQO) no digestor anaeróbio, transformando parte da celulose e hemicelulose em biogás com conversões mássicas de 14,8% de metano e 40,8% de dióxido de carbono. Conforme a Figura 1, a biomassa foi aquecida a 35 °C, alimentada em um reator RYield e direcionada a um separador Flash para isolar a fração gasosa dos resíduos.

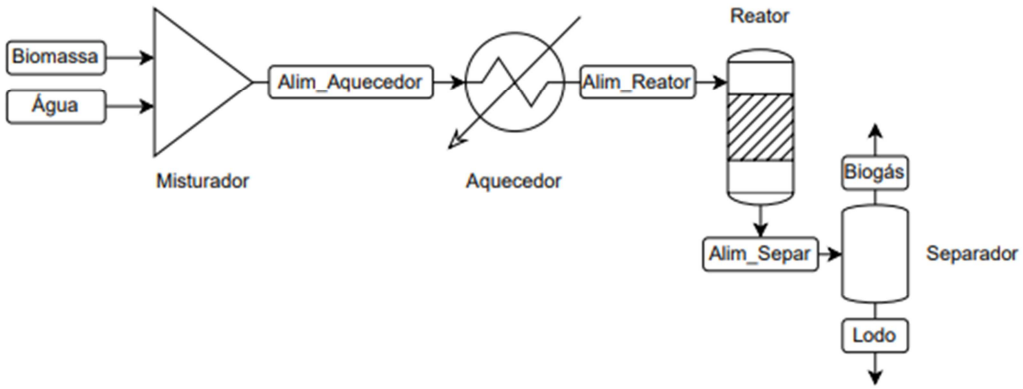


Figura 1 – Fluxograma da simulação do processo de produção de biogás no Aspen Plus.

Para modelar a produção de biodiesel na linguagem de programação *Python*, foram utilizadas como referência as condições experimentais reportadas por James *et al.* (2025), considerando extração *Soxhlet* e maceração, com rendimentos lipídicos de 4,30% e 3,91% e tempos de operação de 7 e 72 h, respectivamente. Os balanços de massa foram implementados em *Python* para determinar as vazões de óleo e, posteriormente, de biodiesel por transesterificação com metanol e NaOH. Foram avaliadas razões molares metanol:óleo entre 4:1 e 8:1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o biogás, a simulação no *Aspen Plus* utilizou uma alimentação de 41,67 kg/h, composta majoritariamente por água (37,50 kg/h), além de 1,23 kg/h de celulose, 1,88 kg/h de hemicelulose, 0,29 kg/h de lignina e 0,77 kg/h de cinzas. Após a conversão, obtiveram-se 0,61 kg/h de CH_4 e 1,69 kg/h de CO_2 na corrente de saída do reator. Por fim, a corrente gasosa apresentou frações molares de 53,3% de CH_4 e 41,2% de CO_2, correspondendo a uma vazão de 1,85 kg/h. A composição obtida alinha-se a padrões típicos da literatura, que apontam cerca de 60% de metano e 38% de gás carbônico (FERRAZ; MARRIEL, 1980).

Para a produção de biodiesel, a extração *Soxhlet* apresentou rendimento lipídico de 4,30%, enquanto a maceração apresentou 3,91%. Considerando os respectivos tempos de operação, esses valores corresponderam a vazões de óleo de 0,614 kg/h e 0,054 kg/h, respectivamente. A maior produtividade observada para o método *Soxhlet* está associada ao menor tempo de extração em relação à maceração. Na etapa de transesterificação, o maior rendimento reacional adotado correspondeu à razão molar metanol:óleo de 6:1. A partir desses dados, a modelagem em *Python* permitiu determinar o consumo de metanol e a produção de biodiesel para cada condição avaliada, conforme apresentado na Tabela 1. Para razões superiores a 6:1, observou-se aumento do consumo de metanol sem incremento na produção de biodiesel, indicando a razão 6:1 como a condição de melhor desempenho entre aquelas avaliadas.

Tabela 1 – Consumo de metanol e produção de biodiesel para as rotas de extração lipídica *Soxhlet* e maceração.

Razão molar metanol:óleo	Rendimento (%)	Consumo de metanol (kg/h)		Produção de biodiesel (L/h)	
		Soxhlet	Maceração	Soxhlet	Maceração
4:1	74,50	0,089	0,008	0,524	0,046
5:1	81,35	0,111	0,010	0,572	0,051
6:1	88,21	0,133	0,012	0,620	0,055
7:1	86,90	0,156	0,014	0,611	0,054
8:1	85,75	0,178	0,016	0,603	0,053

Embora baseada em uma escala específica, a grande disponibilidade de macrófitas aquáticas em locais como o Reservatório de Itaipu (ROSA et al., 2018) evidencia o potencial para maior aproveitamento energético, tornando a produção de biodiesel e biogás ainda mais atrativa.

CONCLUSÕES

A modelagem computacional demonstrou o potencial de aproveitamento do aguapé para a produção de biocombustíveis. Na rota de biodiesel, a extração *Soxhlet* apresentou maior produtividade de óleo em relação à maceração, enquanto o maior rendimento reacional considerado, de 88,21%, correspondeu à razão molar metanol:óleo de 6:1. A simulação no *Aspen Plus* indicou a produção de biogás com predominância de metano e dióxido de carbono. Assim, os resultados evidenciam diferentes possibilidades de valorização energética do aguapé, por meio da produção de biodiesel e biogás.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Departamento de Engenharia Química (DEQ), o Laboratório de Projetos, Simulação e Controle de Processos (LSCP) e à Universidade Estadual de Maringá (UEM) pela infraestrutura disponível para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BALLENGHIEN, D. et al. Comparative Assessment of Hydrothermal Gasification and Anaerobic Digestion using Aspen Plus and SuperPro. **E3S Web of Conferences**, v. 514, p. 03003, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451403003. Acesso em: 20 set. 2026.

FERRAZ, J. M. G.; MARRIEL, I. E. **Biogás**: uma fonte alternativa de energia. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1980. 27 p. (CNPMS. Circular Técnica, 3).

GANGULY, A.; CHATTERJEE, P. K.; DEY, A. Studies on ethanol production from water hyacinth—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 966-972, 2012.

JAMES, N. et al. Optimization of Biodiesel Production from Water Hyacinth via Transesterification and Kinetic Modeling. **International Journal of Scientific Research & Engineering Trends**, v. 11, n. 5, p. 1-9, 2025.

MEES, J. B. R. **Uso de aguapé (Eichhornia crassipes) em sistema de tratamento de efluente de matadouro e frigorífico e avaliação de sua compostagem**. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

ROSA, C. N. da et al. Ocorrência de macrófitas aquáticas no lado brasileiro do Reservatório de Itaipu com o uso de imagens Sentinel-2A. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 1113-1134, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.14393/rbcv70n3-45985. Acesso em: 20 set. 2026.