

PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR MÉTODO ELETROQUÍMICO: TRANSFORMANDO ÓLEO RESIDUAL EM ENERGIA SUSTENTÁVEL

KATHARINE MARGARITHA SATIRO BRAZ^{1,2*}, GABRIEL FELIPE ROHLING^{2,3},
JOÃO GABRIEL HENIK FARENCENA⁴, TAINARA LAÍS BURATTI^{2,5}, JULIANA
ROZENDO BARBOSA⁵, FELIPE ALVES ALENCAR LIMA⁶, ANDRÉ LAZARIN
GALLINA^{2,7}, FERNANDA OLIVEIRA LIMA^{2,8}, LETIÉRE CABREIRA SOARES^{2,9}

1 Introdução

Atualmente, a principal fonte de energia utilizada no mundo são os combustíveis fósseis. Esses combustíveis estão associados à emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos (Euzebio et al., 2019). Os biocombustíveis surgem como alternativas renováveis e sustentáveis, sendo o biodiesel um dos mais promissores. Entre as matérias-primas para biodiesel, destaca-se o óleo residual de cozinha, um resíduo frequentemente descartado de forma inadequada, podendo ocasionar a contaminação da água e do solo (Modro et al., 2022).

Nesse contexto, a eletrólise surge como uma alternativa promissora para a produção de biodiesel, pois apresenta maior tolerância a impurezas, maior eficiência energética e reduz o tempo de reação (Silva et al., 2019). Nesta pesquisa, optamos pela utilização de um eletrodo de aço inox, tornando a tecnologia mais acessível, viável e sustentável em larga escala.

2

Objetivos

Investigar o efeito da variação da área do eletrodo (4, 8 e 12 cm²) e da razão molar (RM) do óleo e metanol (3:1, 6:1 e 9:1), aplicando uma diferença de potencial fixa de 10 V,

-
- 1 Mestranda em Interunidades de Biotecnologia, USP, contato: ksatiro8@gmail.com
 - 2 Grupo de Pesquisa: Energias Renováveis e Sustentabilidade
 - 3 Graduando em Química - Licenciatura, UFFS
 - 4 Graduando em Ciências Biológicas - Licenciatura, UFFS
 - 5 Mestranda em Saúde e Bem Estar Animal, UFFS, *Campus Realeza*
 - 6 Mestrando em Biociências, Universidade Federal da Integração Latino-Americana
 - 7 Doutor em Química, UNICENTRO
 - 8 Doutora em Ciências, UFFS
 - 9 Doutor em Ciências, UFFS, **Orientador.**

sobre os parâmetro de acidez (IA), índice de Iodo (II), índice de peróxido (IP), densidade (d) e rendimento na produção de biodiesel.

3

Metodologia

O óleo residual de fritura foi coletado em um estabelecimento comercial de Santa Izabel do Oeste - PR. O óleo foi filtrado antes de ser utilizado nos ensaios. A densidade do biodiesel foi determinada com o auxílio de um densímetro digital (Anton Paar, modelo DMA 35). O IA, o II, o IP e o rendimento foram calculados conforme Quadro 1, abaixo.

Quadro 1: Equações das análises realizadas com referência.

Análise	Equação	Referência
Índice de acidez	$IA \text{ (mg KOH/g)} = \frac{V_{NaOH} \times f \times 5,61}{m}$	Rovere et al., 2020
Índice de iodo	$II \text{ (g I}_2\text{)} = \frac{\left(\frac{V_{branco}}{V_{\text{óleo inicial}}}\right) \times 100}{m}$	Simas, 2008
Índice de peróxido	$IP \text{ (meq/kg)} = \frac{[(V_{amostra} - V_{branco}) \times N \times 1000]}{m}$	Simas, 2008
Rendimento	$\text{Rendimento (\%)} = \left(\frac{V_{\text{biodiesel final}}}{V_{\text{óleo inicial}}}\right) \times 100$	Santos et al., 2020

Fonte: Os autores (2025). Legenda: V (volume), f (fator de correção), m (massa da amostra), e N (normalidade).

A transesterificação eletroquímica foi conduzida com óleo residual (141 mL), metanol (RM de 3:1, 6:1 e 9:1), hidróxido de potássio (1% m/m), água deionizada (2% m/m), eletrodos de aço inox 304 e diferença de potencial (DDP) de 10 V. A eletrólise ocorreu por 60 minutos, à temperatura ambiente e sob agitação constante (adaptado de Santos et al., 2020).

A análise dos dados foi realizada utilizando ANOVA no software R para verificar a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos dados. Quando necessário, aplicou-se o teste de Kruskal–Wallis para comparação das medianas entre os grupos. Para identificar diferenças específicas entre os pares, utilizou-se o teste de Dunn com correção de Bonferroni.

4 Resultados e Discussão

O IA é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade do biodiesel, pois valores elevados podem causar corrosão em componentes do motor. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o limite máximo permitido para o IA é de

0,50 mg de KOH/g de biodiesel. Nos resultados obtidos (Quadro 2), observa-se que tanto a área do eletrodo quanto a RM influenciaram significativamente os valores da acidez.

Para o eletrodo de 4 cm², apenas a RM 1:3 apresentou IA acima do limite da ANP (1,14 mg de KOH/g), com diferença significativa em relação aos eletrodos maiores ($p = 0,0485$). Já para as RMs 1:6 e 1:9, os valores foram 0,43 e 0,51 mg de KOH/g, próximo ao limite estabelecido pela ANP. O eletrodo de 8 cm² apresentou os melhores resultados, com IA entre 0,27-0,29 mg de KOH/g. Em RM 1:6, esse eletrodo diferiu do eletrodo de 12 cm² ($p = 0,0190$), reforçando sua eficiência. Com o eletrodo de 12 cm², os valores ficaram ligeiramente acima do limite da ANP nas RMs 1:6 e 1:9 (0,51 e 0,53 mg de KOH/g). Na RM 1:9, houve diferença entre as áreas de 4 e 8 cm² ($p = 0,0373$).

A acidez do biodiesel está ligada à presença de ácidos graxos livres, que podem surgir da hidrólise dos triglicerídeos (Rovere et al., 2020). Uma razão molar adequada evita a formação de intermediários ácidos, além disso, a área do eletrodo influencia a reação eletroquímica, afetando a produção de ácidos livres (Fatibello, 2022).

Quadro 2: Caracterização do biodiesel produzido com potencial de 10 V.

Entrada	Eletrodo (cm ²)	RM (óleo:metanol)	IA (mg KOH/g)	II (mg %)	IP (mgeq O ₂ /kg)	d (g/cm ³)	Rendimento (%)
1	4	1:3	1,14 ± 0,02	99,0 ± 0,00	4,09 ± 0,00	0,918	91,45
2	4	1:6	0,43 ± 0,00	97,0 ± 0,39	0,81 ± 0,00	0,898	91,43
3	4	1:9	0,51 ± 0,00	65,8 ± 0,26	6,88 ± 0,23	0,900	91,47
4	8	1:3	0,29 ± 0,00	59,2 ± 0,58	4,46 ± 0,00	0,918	92,14
5	8	1:6	0,27 ± 0,00	58,8 ± 0,00	4,00 ± 0,23	0,899	87,14
6	8	1:9	0,54 ± 0,02	64,2 ± 0,00	4,46 ± 0,00	0,902	87,86
7	12	1:3	0,29 ± 0,00	64,2 ± 0,00	4,85 ± 0,00	0,909	91,40
8	12	1:6	0,51 ± 0,00	59,9 ± 0,00	6,88 ± 0,23	0,900	91,42
9	12	1:9	0,53 ± 0,00	62,3 ± 0,00	6,48 ± 0,23	0,902	90,71

Fonte: Os autores (2025). Legenda: RM (razão molar), IA (índice de acidez), IP (índice de peróxido), e d (densidade).

No que tange o IP, revelou-se uma influência significativa da área do eletrodo em diferentes RM. Para a RM 1:3, os eletrodos de 12 cm² apresentaram valores de peróxido superiores aos eletrodos de 4 cm², sendo essa diferença estatisticamente significativa ($p=0,0197$). Para a RM 1:6, observou-se novamente diferença estatística entre os eletrodos de 4 cm² e 12 cm² ($p = 0,0211$), confirmando que a maior área proporcionou maior IP.

Na RM 1:9, o eletrodo de 8 cm² apresentou IP significativamente maior em relação ao de 4 cm² ($p=0,0373$), demonstrando que, nessa condição, a área média favorece a formação de

peróxidos. Esses dados indicam que, sob 10 V, a área do eletrodo exerce efeito significativo sobre a oxidação do biodiesel, dependendo da RM empregada. Em RM 1:3 e 1:6, com eletrodo de 12 cm², foi mais eficiente na geração de peróxidos, enquanto em RM 1:9 a melhor resposta foi obtida com área intermediária (8 cm²). A interação entre área do eletrodo e RM é, portanto, determinante para a produção de espécies oxidantes no sistema analisado.

O IP não é incluído entre os parâmetros obrigatórios nas normas vigentes dos principais órgãos reguladores (americanos, europeus e brasileiros) de controle de qualidade do biodiesel. Entretanto, esse método é capaz de indicar o grau de degradação do material lipídico e, conseqüentemente, dos ésteres produzidos (Oliveira et al., 2020).

O II está diretamente relacionado à quantidade de ligações duplas presentes nos ácidos graxos da amostra. Quanto maior o valor, maior o grau de insaturação, o que pode influenciar negativamente a estabilidade oxidativa do biodiesel, tornando-o mais suscetível à degradação ao longo do tempo (Souza et al., 2024).

Os valores mais altos observados, como 99,0 mg % e 97,0 mg %, sugerem uma presença significativa de ácidos graxos insaturados, o que pode ser resultado da composição do óleo residual utilizado, o qual pode conter misturas de óleos vegetais originalmente ricos em insaturações (como óleo de soja ou girassol). Em contrapartida, os valores mais baixos, como 58,87 mg % e 59,29 mg %, apontam para amostras com menor grau de insaturação, o que pode favorecer uma maior estabilidade do biodiesel frente à oxidação.

O rendimento do biodiesel produzido variou 87 % a 92 %. Esses valores indicam uma boa eficiência do processo. A pesquisa realizada por Florindo et al (2022) corrobora com nossos achados, apresentando um rendimento próximo a 92 %, o que reforça a eficácia do método empregado para a conversão do óleo residual em biodiesel.

5 Conclusão

A área do eletrodo e a RM influenciaram significativamente nos parâmetros de qualidade do biodiesel obtido a partir de óleo residual, via processo eletroquímico conduzido com eletrodos de aço inox. Os resultados atenderam, em grande parte, aos limites estabelecidos pela ANP, com bom rendimento e acidez controlada. O II e o IP indicam variações na estabilidade oxidativa conforme as condições do processo. Assim, a otimização desses fatores é essencial para garantir um biodiesel eficiente e sustentável.

Referências

Bibliográficas

Euzebio, Camilla Szerman; Da Silva Rangel, Giovanna; Marques, Rejane Côrrea. Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 52, p. 79-98, 2019.

Fatibello, Orlando Filho et al. Eletroanálises: aspectos teóricos e práticos. Documento eletrônico. **São Carlos: EdUFSCar**, 2022. ISBN 978-65-86768-61-9.

Modro, Nilson; Rodrigues, Glauco Oliveira. O Impacto do descarte correto do óleo de cozinha. **Revista Prociências**, v. 5, n. 1, p. 103-115, 2022.

Oliveira, C. D.; Feroldi, M.; Cremonese, P. A.; Teleken, J. G. Estudo da estabilidade oxidativa do biodiesel a partir do óleo de pequi após diferentes tempos de fritura. **Revista Tecnológica - Universidade Estadual de Maringá, Maringá**, v. 29, n. 2, p. 460-474, 2020.

Rovere, Bruno Oliveira; Rodrigues, Johnata Henrique; Teleken, Joel Gustavo. Redução do índice de acidez através da neutralização e esterificação para produção de biodiesel. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24678-24686, 2020.

Silva, Caio Fernando da; Lima, Flávia Maria Torres; Cavalcanti, Luiz Antonio Pimentel. Produção de hidrogênio a partir do tratamento de efluente residual da produção de biodiesel. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 13, p. 299-307, 2019.

Simas, André da Silva Lopes. Produção de biodiesel a partir de óleos vegetais virgens e usados, comparando transesterificação básica e enzimática. **Dissertação de Mestrado**.

Souza, Margarida Carmo et al. Análise da estabilidade por parâmetros físico-químicos do óleo das sementes de inajá (*maximiliana maripa*) oriundas da Região Amazônica. **Conjecturas**, v. 24, n. 1, p. 337-354, 2024. **Universidade NOVA de Lisboa (Portugal)**. 2008.

Palavras-chave: Eletrólise; Biodiesel; Transesterificação; Sustentabilidade.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2024-0143

Financiamento

