

HIDRÓLISE QUÍMICA E ENZIMÁTICA DA BORRA DE SOJA OBJETIVANDO A PRODUÇÃO DE MATERIAL GRAXO DE BAIXO CUSTO

LETÍCIA C. COSTA^{1,2}, BEATRIS S. BENETTI^{2,3}, ALINE P. DRESCH^{2,4}, JOÃO P. BENDER^{2,5}, GUILHERME M. MIBIELLI^{2,6}

1 INTRODUÇÃO

O biodiesel tem ganhado destaque na matriz energética brasileira devido ao seu potencial sustentável e à capacidade de redução da poluição associada ao uso de combustíveis fósseis (Mibielli *et al.*, 2018). A regulamentação de sua inserção no mercado ocorreu por meio da Lei nº 11.097/2005, que estabeleceu a obrigatoriedade de sua adição ao diesel fóssil, com percentuais definidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). No Brasil, a soja se destaca como principal matéria-prima para a produção de biodiesel, sendo responsável por 74,03% da produção nacional em 2024 (ANP, 2025). Como consequência desse modelo produtivo, subprodutos industriais, como a borra de soja — rica em sabões, triglicerídeos e até 60% de ácidos graxos livres — surge como alternativa promissora para a produção de biocombustíveis (Da Fré *et al.*, 2009). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade de obtenção do material graxo presente na borra de soja, utilizando processos de extração químicos e enzimáticos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de obtenção de material graxo a partir da borra de soja através de processos de extração químicos e enzimáticos.

3 METODOLOGIA

A borra de soja utilizada neste estudo foi cedida por uma empresa produtora de biodiesel localizada na região noroeste do Rio Grande do Sul. O material foi armazenado em galões plásticos sob refrigeração a 4 °C até o momento de sua utilização. A caracterização da borra de soja foi realizada através das seguintes análises: pH, teor de umidade, teor de cinzas, ácidos graxos totais e ácidos graxos oxidados, conforme os métodos descritos pela American Oil Chemists' Society (AOCS, 1990). O índice de acidez foi determinado segundo a metodologia

¹ Discente, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó, contato: leticia.catarine@uffs.edu.br.

² Grupo de Pesquisa em Processos Enzimáticos e Microbiológicos (GPPEM).

³ Engenheira Ambiental e Sanitarista, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó.

⁴ Mestra, Universidade Federal do Paraná, *campus* Palotina.

⁵ Docente, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó.

⁶ Docente, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Chapecó, **Orientador**.

do Instituto Adolfo Lutz (Instituto Adolfo Lutz, 1985).

A extração do material graxo por hidrólise química foi conduzida com base em dois planejamentos experimentais. Inicialmente, aplicou-se o Plackett-Burman (PB) para avaliar a influência das variáveis tipo de ácido (H_2SO_4 ou HCl), temperatura (30 a $50^\circ C$), volume de água (0 a 3 mL) e pH (2 a 4). Com base nos resultados obtidos, utilizou-se o Delineamento Composto Central (DCC) para otimizar as condições experimentais visando à maximização do rendimento de extração. Os ensaios foram realizados em reator batelada, com aquecimento em banho-maria e agitação mecânica, utilizando 30 g de borra de soja por experimento. Após o aquecimento, o ácido foi adicionado, e a reação foi conduzida por 30 min. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 8000 rpm por 20 min, permitindo a separação das fases. A fração graxa foi isolada, seca a $105^\circ C$ e posteriormente quantificada.

A hidrólise enzimática também foi realizada em reator batelada, sob agitação e aquecimento a $50^\circ C$, utilizando 50 g de borra de soja por experimento. Foram conduzidos três ensaios: (i) com 1% de Lipase NZ; (ii) com 1% de Lipase NZ e 5 mL de ácido cítrico a 0,1 M; e (iii) com 2% de Lipase NZ e 5 mL de ácido cítrico a 1,5 M. Após 24 horas de reação, as amostras foram centrifugadas a 8.000 rpm por 20 min. A fase graxa foi separada, seca a $105^\circ C$ e quantificada para determinação do rendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial da borra de soja permitiu identificar parâmetros relevantes para o rendimento da extração de material graxo. A amostra apresentou pH de 6,90, teor de umidade e material volátil de 67,63%, e teor de cinzas de 14,08%. O índice de acidez foi de 33,34 mg KOH/g amostra, indicando elevada concentração de ácidos graxos livres. O teor de ácidos graxos totais foi de 23,11%, enquanto os ácidos graxos oxidados correspondem a 1,17%. Esses resultados são compatíveis com valores obtidos por Da Fré (2013) e Lenzi (2017), confirmando o potencial da borra de soja como matéria-prima para a produção de biocombustíveis.

O processo de hidrólise química promoveu a quebra da emulsão presente na borra de soja através da centrifugação, permitindo a separação do material graxo da fase aquosa. No planejamento Plackett-Burman, avaliou-se o efeito das variáveis ácido, temperatura, volume de água e pH sobre o rendimento da extração (resultados apresentados na Tabela 1), tomando como referência o rendimento teórico máximo de 0,2311 g de material graxo por grama de biomassa.

Tabela 1 – Resultados do planejamento Plackett-Burmann para extração de material graxo.

Ensaio	Ácido	Temperatura (°C)	Volume de água (mL)	pH	Material graxo (g/g biomassa)	Material graxo (%)
1	H ₂ SO ₄ (1)	30	0	4	0,1404	60,75
2	H ₂ SO ₄ (1)	50	0	2	0,1310	56,59
3	H ₂ SO ₄ (1)	50	3	2	0,1487	64,34
4	HCl (-1)	50	3	4	0,1206	52,19
5	H ₂ SO ₄ (1)	30	3	4	0,1480	64,04
6	HCl (-1)	50	0	4	0,1256	54,35
7	HCl (-1)	30	3	2	0,1057	45,74
8	HCl (-1)	30	0	2	0,1108	47,94

Os resultados indicaram que o ácido sulfúrico proporcionou o melhor desempenho, com destaque para o ensaio 3, que atingiu 0,1487 g de material graxo por grama de biomassa, equivalente a 64,34% do rendimento máximo. A análise estatística revelou que o tipo de ácido foi a variável mais significativa ($p < 0,05$), demonstrando a superioridade do ácido sulfúrico para promover a quebra da emulsão, conforme também demonstrado por Da Fré (2009). No entanto, seu uso exige atenção quanto à formação de resíduos de enxofre, que são limitados em 10 mg/kg de acordo com a resolução n° 45/2014 (BRASIL, 2014).

Com base nesses resultados, foi realizado um segundo planejamento experimental, o Delineamento Composto Central (DCC), considerando apenas o ácido sulfúrico e variando as condições de temperatura, pH e volume de água. Conforme demonstrado na Tabela 2, as melhores condições foram obtidas a 70 °C, pH 4 e 6 mL de água, resultando em um rendimento de 0,2028 g de material graxo por grama de biomassa, equivalente a 87,75% do rendimento máximo estimado. A análise dos efeitos demonstrou que a temperatura foi a variável de maior impacto positivo na eficiência de extração, o que está de acordo com a literatura, que recomenda temperaturas entre 80 °C e 130 °C para reações com ácidos fortes (Rodrigues; Quintella, 2017). No entanto, ainda que as temperaturas utilizadas tenham sido inferiores ao intervalo citado, o melhor desempenho foi alcançado na condição mais elevada testada, de 70 °C, evidenciando a importância dessa variável para a eficiência do processo.

Tabela 2 – Resultados do rendimento da extração de material graxo através do planejamento Delineamento Composto Central (DCC).

Ensaio	Temperatura (°C)	pH	Volume de água (mL)	Material graxo (g/g biomassa)	Material graxo (%)
1	30	2	3	0,0713	30,85
2	70	2	3	0,1661	71,87
3	30	4	3	0,0746	32,28
4	70	4	3	0,1624	70,27
5	30	2	6	0,0736	31,85
6	70	2	6	0,1997	86,41
7	30	4	6	0,0909	39,33
8	70	4	6	0,2028	87,75
9	50	3	4,5	0,1952	84,47
10	50	3	4,5	0,1886	81,61
11	50	3	4,5	0,1757	76,03

Já na rota enzimática, apenas o ensaio com 2% de Lipase NZ e 5 mL de ácido cítrico a 1,5 M apresentou rendimento expressivo, alcançando 0,1561 g de material graxo por grama de biomassa (67,55% do total estimado). Ensaio com 1% de enzima não foram eficazes, mesmo com a adição de ácido cítrico. Embora a hidrólise enzimática não tenha superado a eficiência do processo químico otimizado, apresenta vantagens ambientais, como a ausência de resíduos sulfurosos. No entanto, o alto custo das enzimas e o longo tempo de reação ainda limitam sua aplicação industrial (Casali *et al.*, 2021). Mas ainda assim, os resultados demonstram potencial promissor para o desenvolvimento dessa tecnologia.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou o potencial da borra de soja como matéria-prima para a obtenção de material graxo, evidenciando sua viabilidade para aplicação na produção de biocombustíveis. No processo químico, o planejamento Plackett-Burman indicou o ácido sulfúrico como o agente mais eficaz, alcançando rendimento de 64,33%, enquanto o Delineamento Composto Central permitiu otimizar as condições e obter até 87,75% de recuperação. Na rota enzimática, apenas o terceiro ensaio, com maior concentração de enzima e ácido cítrico foi eficiente, atingindo 67,55% de rendimento. Os resultados indicam que ambas as rotas são tecnicamente viáveis, com superioridade da via química em termos de eficiência, e da rota enzimática como uma alternativa ambientalmente promissora. Para estudos futuros,

recomenda-se investigar a conversão do material graxo extraído em biodiesel e aprofundar a compreensão dos mecanismos de atuação das enzimas na quebra da emulsão.

Referências Bibliográficas

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign, USA, A.O.C.S. 1990.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS **Anuário Estatístico Brasileiro**, 2025.

BRASIL, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. **Resolução nº 45/2014**. Brasília, 2014.

BRASIL **Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.

CASALI, Beatrice *et al.* Enzymatic Methods for the Manipulation and Valorization of Soapstock from Vegetable Oil Refining Processes. **Sustainable Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 74– 91, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/suschem2010006>. Acesso em: 16 jul. 2025.

DA FRÉ, Nicéia Chies. **Obtenção de ácidos graxos a partir da acidulação de borra de neutralização de óleo de soja**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v.1.: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985.

LENZI, Cecília. **Recuperação enzimática de ácidos graxos de borra de soja**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MIBIELLI, Guilherme Martinez. **Produção em escala industrial de ésteres metílicos a partir de matérias-primas de baixo custo utilizando enzima livre comercial**. 2018. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

RODRIGUES, Pamela Dias; QUINTELLA, Cristina M. Prospecção tecnológica de patentes sobre a obtenção de ácidos graxos a partir da borra de refino do tratamento de neutralização de óleos brutos (Soap Stock). **Cadernos de Prospecção**, v. 10, n. 3, p. 563, 30 set. 2017. Universidade Federal da Bahia.

Palavras-chave: Biodiesel; Valoração de resíduos; Biocombustíveis.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES-2024-0392

Financiamento:

