PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE MILHO: COMPARAÇÃO ENTRE CATÁLISE HOMOGÊNEA BÁSICA E CATÁLISE HOMOGÊNEA ÁCIDA

BIODIESEL PRODUCTION FROM CORN OIL: COMPARISON BETWEEN HOMOGENEOUS BASIC CATALYSIS AND HOMOGENEOUS ACID CATALYSIS

Maria Eduarda Santos Pouza, Larissa Medeiros Kleis Guimarães, Giovanna dos Santos Meles, Murilo Antunes Alves Lucindo, Vitor da Silva Rosa, Nelize Maria de Almeida Coelho

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: mariasantospouza.eng@gmail.com

RESUMO – O biodiesel é um combustível renovável e biodegradável que se destaca por reduzir as emissões de poluentes e contribuir para o desenvolvimento sustentável. Este estudo teve de objetivo, produzir biodiesel a partir do óleo de milho e comparar duas rotas catalíticas: catálise homogênea básica e catálise homogênea ácida. Os resultados mostraram rendimento médio de 81,05% e índice de acidez média de 1,1020 mg KOH/g de biodiesel para a catálise homogênea ácida e rendimento médio de 73,71%, e índice de acidez média de 1,4548 mg KOH/g de biodiesel para a catálise homogênea básica. Embora a catálise ácida tenha apresentado maior rendimento e menor acidez, a catálise básica mostrou maior eficiência em relação ao tempo de reação.

Palavras-chave: Biodiesel; Óleo de milho; Sustentabilidade; Catálise homogênea básica; Catálise homogênea ácida.

ABSTRACT – Biodiesel is a renewable and biodegradable fuel that stands out for reducing pollutant emissions and contributing to sustainable development. This study aimed to produce biodiesel from corn oil and compare two catalytic routes: basic homogeneous catalysis and acidic homogeneous catalysis. The results showed an average yield of 81,05% and an average acid value of 1.1020 mg KOH/g of biodiesel for the acidic homogeneous catalysis, and an average yield of 73.71% and an average acid value of 1.4548 mg KOH/g of biodiesel for the basic homogeneous catalysis. Although acidic catalysis showed higher yield and lower acidity, basic catalysis demonstrated greater efficiency in terms of reaction time.

Keywords: Biodiesel; Corn oil; Sustainnability; Homogeneous base catalysis; Homogeneous acid catalysis.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento da demanda energética global e a crescente preocupação com os impactos ambientais têm impulsionado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis (Mata et. al., 2012). O crescimento populacional, o avanço industrial e o aumento do consumo de energia têm causado uma maior exploração de recursos não renováveis, resultando em elevação das emissões de gases de efeito estufa e agravamento das mudanças climáticas. Portanto, torna-se indispensável a busca por fontes de energia que aliem viabilidade econômica, eficiência e sustentabilidade ambiental.

Entre as alternativas, o biodiesel tem se destacado. Trata-se de um biocombustível renovável, biodegradável e menos poluente, capaz de substituir o diesel de origem fóssil em motores de combustão interna. Sua utilização reduz as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado, além de contribuir para o equilíbrio do ciclo de carbono na atmosfera, uma vez que o CO_2 liberado na queima é compensado pela absorção realizada pelas plantas durante o cultivo das matérias-primas oleaginosas (Luque et. al., 2008).

A produção de biodiesel ocorre por meio da reação de transesterificação, na qual triglicerídeos presentes em óleos vegetais ou gorduras animais reagem com um álcool, geralmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador, formando ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol como subproduto (Knothe, Krahl e Van Gerpen, 2010). O processo é relativamente simples, mas a escolha do catalisador e das condições reacionais exerce grande influência sobre o rendimento, a qualidade, a facilidade de separação e a facilidade de purificação do produto final (Benjumea e Agudelo, 2008).

A catálise homogênea básica, utilizando hidróxidos alcalinos como hidróxido de potássio (KOH), é o método mais amplamente empregado industrialmente, por apresentar alta taxa de conversão, baixo custo e simplicidade operacional. No entanto, essa rota apresenta limitações importantes, especialmente quando são utilizados óleos com alto teor de ácidos graxos livres ou umidade, fatores que levam à formação de sabões e dificultam a separação das fases. Essa desvantagem motivam a busca por alternativas catalíticas mais eficientes e versáteis (Moutinho, 2023).

Como alternativa, a catálise homogênea ácida tem se mostrado uma opção promissora, principalmente para matérias-primas de menor qualidade, como óleos residuais ou gorduras

animais. Nesse tipo de catálise, ácidos fortes, como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou o ácido clorídrico (HCl), atuam como catalisadores, promovendo tanto a esterificação dos ácidos graxos livres quanto a transesterificação dos triglicerídeos. Apesar de exigir maiores tempos de reação e temperaturas mais elevadas, a catálise ácida apresenta vantagens significativas, como a insensibilidade à presença de água e ácidos graxos, além de evitar a formação de sabões — o que resulta em um biodiesel de maior pureza e mais fácil separação.

Do ponto de vista ambiental e econômico, o aperfeiçoamento dos processos catalíticos para a produção de biodiesel é fundamental. A possibilidade de empregar diferentes matérias-primas, especialmente aquelas de baixo custo ou de origem residual, contribui para a redução do impacto ambiental e para o aproveitamento de resíduos agroindustriais (Luquee et. al., 2010).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo comparar o desempenho da catálise homogênea básica e da catálise homogênea ácida na produção de biodiesel a partir do óleo de milho, avaliando o rendimento, o índice de acidez e a viabilidade de aplicação das rotas estudadas. A análise comparativa visa compreender as vantagens e limitações de cada método, contribuindo para o aprimoramento de processos produtivos e para a expansão do uso do biodiesel como alternativa energética limpa e sustentável.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 representa o sistema realizado para a produção do biodiesel. Utiliza-se um balão de fundo rebondo de 250 mL de três bocas e de junta esmerilhada em uma manta aquecedora. No lado esquerdo é inserido um termômetro para o controle de temperatura, no meio, um condensador é colocado para evitar que o metanol utilizado no experimento evapore antes da reação terminar e no lado direito um funil de separação com torneira para que o álcool e o catalisador se misturem ao mesmo tempo com o óleo de milho.

Os ensaios com catálise homogênea ácida foram realizados com aproximadamente 60g de óleo de milho e metanol em três (3) proporções estequiométricas diferentes (óleo:álcool): 1:6, 1:9 e 1:12. O catalisador utilizado foi o ácido sulfúrico (H_2SO_4) com peso de 3% em relação a quantidade de óleo de milho utilizado e o tempo de reação também variou em 2, 3, 4 e 5 horas de reação.

Figura 1: Sistema de produção do biodiesel



As lavagens para separação dos produtos obtidos e para a purificação do biodiesel com catálise ácida foram feitas todas a frio e em três etapas. A primeira lavagem foi utilizado 3 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) com 47 mL de água destilada, a segunda e a terceira lavagem foi utilizado 50 mL de água destilada para cada. A agitação foi realizada de modo manualmente com bastão de vidro por 5 minutos em cada etapa para garantir uma mistura homogênea.

Os ensaios com catálise homogênea básica foram realizados com aproximadamente 100 mL de óleo de milho (o óleo foi pesado para que em seguida fosse realizado o rendimento da reação) e 40 mL de metanol. O catalisador utilizado foi o hidróxido de potássio (KOH) com peso de aproximadamente 1,5g e o tempo de reação variou em 20, 40, 60, 80 e 100 minutos de reação.

O tratamento para a catálise básica diferentemente da catálise ácida foi realizada em quatro etapas. A primeira lavagem foram utilizados 50 mL de ácido clorídrico (HCl) 0,5% v/v (proporção volumétrica de ácido clorídrico dissolvido em água destilada). A segunda lavagem foi com 50 mL de solução saturada de cloreto de sódio (NaCl). A terceira lavagem foi com 50 mL de água destilada. A quarta e última lavagem utilizou-se 8g de sulfato de sódio sólido (em pó) e para remover os resíduos sólidos foi realizada uma filtração a vácuo. A agitação também

foi realizada de modo manualmente com bastão de vidro por 5 minutos em todas as etapas para garantir uma mistura homogênea.

Para o rendimento foi utilizado o cálculo demonstrado na equação 1, onde é realizada a razão de peso de biodiesel produzido após o tratamento em gramas com o peso de óleo de milho utilizado inicialmente em gramas, vezes 100 para obter-se o percentual.

$$Rendimento = \frac{biodiesel\ após\ o\ tratamento\ (g)}{óleo\ de\ milho\ utilizado\ na\ reação\ (g)} . 100 \quad (1)$$

Para a determinação do índice de acidez foi utilizado aproximadamente 2g de biodiesel previamente tratado em um frasco Erlenmeyer de 125 mL juntamente com 25 mL de solução éter-álcool na proporção de 2:1 volumétrico. Para indicador de solução foi utilizado 2 gotas de fenolftaleína e a titulação foi realizada com hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 M. O cálculo demonstrado na equação 2, representa quantos miligramas de KOH estão presentes por grama de biodiesel.

$$índice\ de\ acidez = \frac{v . f . 0{,}561}{P} \quad (2)$$

Onde:

v = volume em mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01 M gasto na titulação.

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio.

56,1 = massa molar do hidróxido de potássio (KOH) para conversão em mg de KOH na amostra.

P = peso em gramas da amostra de biodiesel utilizada no índice de acidez.

O cálculo do rendimento e do índice de acidez foram realizados para todas as amostras produzidas, tanto com catalisador hmogêneo ácido para catalisador homogêneo básico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, os dados experimentais utilizados na produção do biodiesel, os resultados obtidos para o rendimento e o índice de acidez em cada ensaio e a média geral para comparação entre as duas catálises.

A tabela 1 demonstra a condição adotada como: proporção molar entre óleo e álcool, tipo e concentração do catalisador, temperatura e tempo de reação, permitindo visualizar de forma organizada as variáveis que influenciaram diretamente o desempenho do processo.

Tabela 1: Dados experimentais da produção de biodiesel

Ensaio	Catalisador	Proporção (óleo : metanol)	Tempo (min)	Peso Óleo de Milho (g)	Peso Catalisador (g)	Quantidade de metanol (mL)	Peso Biodiesel tratado (g)
1	H_2SO_4	(1:9)	120	60,21	2,03	79,11	52,11
2	H_2SO_4	(1:9)	180	60,07	2,10	78,18	52,35
3	H_2SO_4	(1:6)	240	59,52	1,92	53,51	54,12
4	H_2SO_4	(1:9)	240	64,12	2,05	86,23	46,77
5	H_2SO_4	(1:12)	240	58,1	1,72	104,02	48,04
6	H_2SO_4	(1:6)	300	61,64	2,42	54,53	51,54
7	H_2SO_4	(1:9)	300	64	2,50	84,31	56,16
8	H_2SO_4	(1:12)	300	62,63	1,92	110,07	53,36
9	H_2SO_4	(1:6)	120	63,74	2,07	55,44	58,14
10	H_2SO_4	(1:9)	120	60,58	1,84	80,62	52,24
11	H_2SO_4	(1:6)	180	61	1,84	53,41	24,37
12	H_2SO_4	(1:9)	180	62,65	1,91	83,35	24,12
13	H_2SO_4	(1:12)	180	63,29	1,94	110,63	55,91
14	H_2SO_4	(1:6)	240	59,7	2,04	54,65	52,67
15	H_2SO_4	(1:9)	240	63,48	2,07	84,47	60,75
16	H_2SO_4	(1:12)	240	64,94	1,96	112,97	49,02
17	H_2SO_4	(1:6)	300	60,34	2,03	53,79	51,42
18	H_2SO_4	(1:9)	300	61,89	1,94	80,44	54,56
19	H_2SO_4	(1:12)	300	62,89	1,87	112,73	54,17
20	KOH	-	20	88,22	1,54	40,00	57,3
21	KOH	-	40	88,77	1,52	40,00	71,81
22	KOH	-	60	89,02	1,55	40,00	61,57
23	KOH	-	80	89,94	1,50	40,00	74,27
24	KOH	-	100	88,53	1,55	40,00	68,26
25	KOH	-	20	89,47	1,53	40,00	58,41
26	KOH	-	40	89,15	1,57	40,00	68,26
27	KOH	-	60	88,56	1,50	40,00	58,33
28	KOH	-	80	89,06	1,52	40,00	70,19
29	KOH	-	100	89,56	1,53	40,00	67,92

Já a tabela 2 organiza os resultados de cada experimento, evidenciando as variações no rendimento (Equação 1 utilizada) e na acidez (Equação 2 utilizada) do biodiesel produzido a partir das diferentes condições aplicadas.

Tabela 2: Resultados de análise de rendimento e acidez do biodiesel produzido

Ensaio	Rendimento (%)	Acidez (mg KOH/g biodiesel)
1	86,55	0,6035
2	87,15	0,5987
3	90,93	0,5407
4	72,94	0,4973
5	82,69	1,2504
6	83,61	1,5063
7	87,75	1,3048
8	85,20	1,3180
9	91,21	1,3904
10	86,23	1,5594
11	39,95	0,8400
12	38,50	0,6856
13	88,34	0,6421
14	88,22	0,7435
15	95,70	0,5938
16	75,49	1,6656
17	85,22	1,9263
18	88,16	1,5830
19	86,13	1,6895
20	64,95	1,4893
21	80,89	1,2791
22	69,16	1,7413
23	82,58	1,4358
24	77,10	1,4766
25	65,28	1,2048
26	76,57	1,4017
27	65,86	1,5830
28	78,81	1,6886
29	75,84	1,2478

A partir desses valores individuais, foi calculada a média geral para cada rota catalítica, que representa o desempenho médio de cada método e serve de base para a análise comparativa entre a catálise homogênea ácida e a básica demonstrado na tabela 3.

Tabela 3: Resultados de análise de rendimento e acidez do biodiesel produzido

Catálise	Rendimento médio (%)	Acidez média (mg KOH/g biodiesel)
Ácida	81,05	1,1020
Básica	73,71	1,4548

4 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar a produção de biodiesel a partir do óleo de milho utilizando catálise homogênea básica e ácida, avaliando o rendimento e o índice de acidez obtidos em cada rota. Os resultados demonstraram que a catálise homogênea ácida apresentou melhor desempenho, com rendimento médio de 81,05% e menor acidez com uma média de 1,1020 mg KOH/g de biodiesel, enquanto a catálise básica obteve rendimento médio de 73,71% e acidez média de 1,4548 mg KOH/g, destacando-se, contudo, pela menor duração do processo reacional. Assim, conclui-se que ambas as rotas são viáveis, e a escolha do método depende das condições de operação e da qualidade da matéria-prima. Agradece-se à Universidade Santa Cecília e aos docentes do curso de Engenharia Química pelo apoio técnico e científico, bem como aos colegas que contribuíram na realização dos experimentos. Para trabalhos futuros, recomenda-se avaliar catalisadores heterogêneos como a casca de ovo (calcinada para obter-se CaO) e matérias-primas residuais, visando à melhoria do rendimento e à redução dos impactos ambientais.

5 REFERÊNCIAS

Mata, T. M., Sousa, I.R., Vieira, S. S., & Caetano, N. S. (2012). Biodiesel production from corn oil via enzymatic catalysis whith etanol. *Energy & Fuels*, 26(5), 3034-3041.

Luque, R., Herrero-Davila, L., Campelo, J. M., Clark, J. H., Hidalgo, J. M., Luna, D., ... & Romero, A. A. (2008). Biofuels: a technological perspective. *Energy & Environmental Science*, 1(5), 542-564.

Knothe, G., Krahl, J., & Van Gerpen, J. (2010). *The biodiesel handbook* (2nd ed.). Urbana, Illinois: AOCS Press.

Benjumea, P., Agudelo, J., & Agudelo, A. (2008). Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends. *Fuel*, 87(10-11), 2069-2075. doi:10.1016/j.fuel.2007.11.004.

Moutinho, A. G. de O. (2023) Produção de biodiesel por meio de reações catalíticas homogêneas e heterogêneas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Paulo, Diadema.

Dabdoub, M. J.; Bronzel, J. L.; Rampin, M. A. (2009) Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 776–792, 2009.

Luque, R., Lovett, J., Datta, B., Clancy, J., Campelo, J. M., & Romero, A. A. (2010). *Energy & Environmental Science*, 3, 1706−1721.