

PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM REATOR CONTÍNUO IRRADIADO POR MICRO-ONDAS A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA

Gustavo Ayub Ferreira Soares¹; Renata Borges do Nascimento²; Edmilson Renato de Castro²

¹ Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

² Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Resumo. *Este trabalho teve como objetivo a produção de biodiesel utilizando três abordagens distintas: óleo in natura em reator contínuo com aquecimento por micro-ondas, óleo in natura em reator em batelada com aquecimento elétrico e óleo pós-consumo em reator em batelada com aquecimento elétrico. Os rendimentos obtidos foram de 80% para o reator contínuo, 58,27% para o reator em batelada utilizando óleo in natura e 52,26% para o óleo pós-consumo. Contudo, ao avaliar os parâmetros de qualidade estabelecidos pela resolução ANP 07/2008, o biodiesel produzido no reator contínuo apresentou o pior desempenho, atendendo apenas metade dos padrões exigidos. Em contrapartida, o biodiesel de óleo pós-consumo em reator em batelada não atingiu apenas um parâmetro, enquanto o biodiesel de óleo in natura produzido no reator em batelada cumpriu todos os requisitos de qualidade. Os resultados destacam a importância das condições de produção para a eficiência e a qualidade do biodiesel.*

Introdução

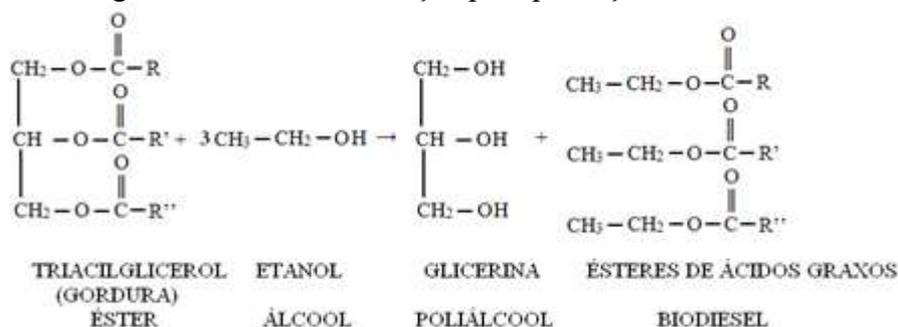
O biodiesel é uma ótima opção para substituir os combustíveis de origem fóssil, já que esses, além de estarem cada vez mais escassos, também são grandes poluidores do meio ambiente através de suas emissões gasosas. O biodiesel, por ser derivado de fontes renováveis, emite menos gases do efeito estufa comparado aos combustíveis tradicionais provenientes da indústria petroquímica. Embora já sejam usados, os biocombustíveis representam uma porção pequena de todo combustível utilizado no Brasil, sendo 20% do total (Governo Federal, 2021). Além disso, nenhuma das unidades produtivas do biocombustível no país usam micro-ondas como fonte de calor, que poderia ser uma boa alternativa de uso na produção. A irradiação dessas ondas eletromagnéticas ao meio reacional, na maioria dos casos, aumenta a velocidade de reação, gerando um maior volume de produto produzido em menores tempos de processamento. Isso acontece devido as características de interação entre as micro-ondas e o meio reacional durante a produção do biodiesel.

A produção desse biocombustível com óleo pós-consumo seria um cenário ideal, já que reutilizaria o óleo ao invés de usar um novo (*in natura*). O descarte errado pode contaminar o solo e a atmosfera, além de rios e lagos. Alguns estabelecimentos descartam diretamente para o esgoto, o que, pelo fato de ser mais leve que a água, gera uma camada de óleo que impede a entrada de luz e oxigenação da água. A reutilização na produção de biodiesel diminuiria tanto a poluição quanto o uso de recursos naturais, podendo repassá-los para outras áreas. Os óleos vegetais pós-consumo apresentam várias vantagens como combustíveis alternativos em relação ao diesel, pois são líquidos naturais, com altos valores energéticos, baixos conteúdos de enxofre e são biodegradáveis. O biodiesel produzido de óleos descartados de frituras residenciais e comerciais gera uma menor emissão de fumaça e poluição, o que mostra como o investimento nessa área pode gerar frutos. No entanto, no Brasil esse óleo é muitas vezes desprezado e aproveitado de maneira inadequada (Propeq, 2024).

Com esta premissa, esse trabalho visou comparar os resultados, segundo a ANP07/2008, obtidos na produção do biodiesel provenientes de três rotas, uma pelo processo utilizando aquecimento elétrico em reator batelada, com óleo *in natura* (Bertucci, Nascimento e Castro, 2023) e pós-consumo, e outra pelo processo contínuo aquecido por micro-ondas, com óleo *in natura*.

Biodiesel: é um combustível com propriedades semelhantes ao diesel, mas é muito menos poluente. Os principais métodos de produção do biodiesel são: a esterificação, transesterificação, a pirólise e as microemulsões, com os métodos de aquecimento vindo de fontes convencionais ou supercríticas. A transesterificação é um dos métodos mais usado ⁽⁴⁾. Nela, o álcool, na presença de um catalisador, transforma os triglicerídeos do óleo em moléculas de ésteres. A estequiometria da reação de formação do biodiesel requer 1 mol de triglicerídeos e 3 mols de álcool. Na Figura 1 há uma demonstração da transesterificação.

Figura 1 – Transesterificação para produção de biodiesel.



Micro-ondas: são radiações eletromagnéticas, com comprimento de onda entre 0,001 m e 1 m (no ar) e frequência variando de 0,3 a 300 GHz. Na década de 1970, o aquecimento dielétrico (por micro-ondas) foi utilizado como uma nova tecnologia. Com o tempo, essa ferramenta passou a ser usado em todos os campos da química por sua alta eficiência em acelerar processos químicos (Rhithuparna, et.al., 2024). Diferente do aquecimento convencional, as micro-ondas oferecem aquecimento sem contato, direto nos reagentes (nível molecular), volumétrico, com processamento mais rápido e um maior controle no processo. Além disso, cineticamente, a reação ocorre mais rápido e com maiores taxas de conversão. Com isso, o aquecimento por micro-ondas gera melhores e mais eficientes resultados, já que necessita menos tempo de reação, menos gasto de energia e gera maiores rendimentos (Khan, et. al., 2024)

Reatores contínuos: são aqueles que operam com entrada e saída, enquanto a reação ocorre em seu interior. Eles são muito utilizados em processos de larga escala e que exigem grande tempo de operação. Algumas vantagens desse tipo de reator são: pode-se controlar o tempo de residência a partir da vazão e os parâmetros de operação são mais bem controlados. Um exemplo desse tipo de reator é o tubular. Também conhecido como PFR (*Plug Flow Reactor*), são muito utilizados em reação gasosas e que ocorrem em altas temperaturas. As grandes vantagens dele são: favorece a troca de calor, devido a maior superfície de contato e, graças ao seu alto nível de conversão, podem produzir grandes quantidades de produtos (Propeq, 2024).

Materiais e Métodos

Materiais:

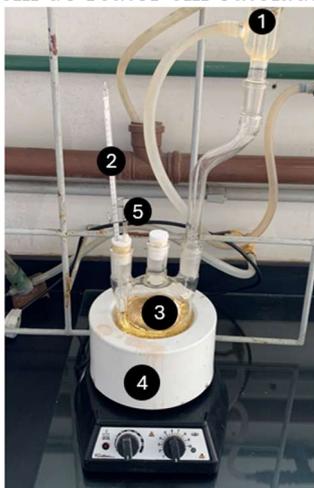
Os reagentes utilizados para a síntese do biodiesel foram o óleo de soja *in natura* ou pós-consumo e o álcool metílico, além do catalisador metóxido de sódio (5%). As quantidades utilizadas tanto para os testes em batelada como para os testes contínuos, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Massas dos reagentes e do catalisador utilizados na produção do biodiesel em reator em batelada e contínuo.

Reagente	Massa do em batelada (g)	Massa do contínuo (g)
Óleo <i>in natura</i> ou pós-consumo	235,12	1500,0
Metanol (99%)	34,12	254,8
Metóxido de sódio (5%)	5,00	30,1

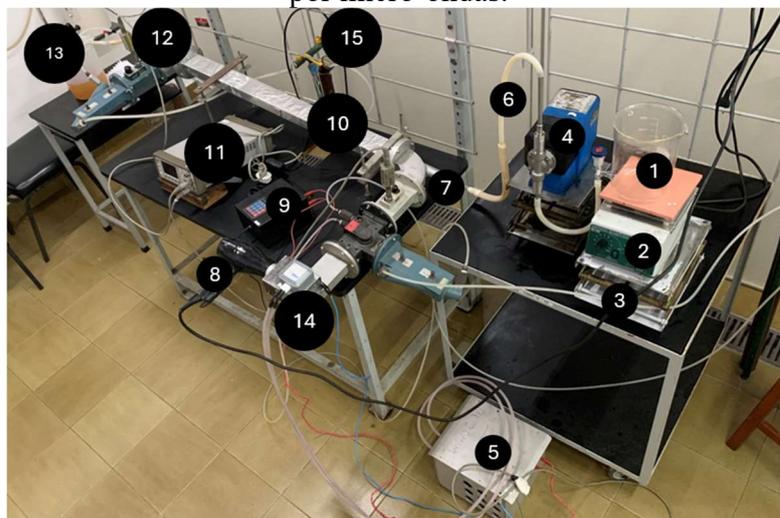
A Figura 2 apresenta a montagem do equipamento desenvolvido pelo Laboratório de Micro-ondas do Instituto Mauá de Tecnologia para a produção do biodiesel em processo batelada com aquecimento elétrico (óleo *in natura* e usado), enquanto a Figura 3 apresenta o reator contínuo com aquecimento por micro-ondas (somente óleo *in natura*) e sua respectiva descrição.

Figura 2 - Vista da montagem do reator em batelada com aquecimento elétrico.



01. Condensador Allihn, tipo bolha para refluxos voláteis; **02.** Termômetro (escala entre -20 °C e 300 °C); **03.** Balão de fundo redondo de 0,5 L com três bocas de 24/40; **04.** Manta aquecedora tipo ninho com agitação, para balões de fundo redondo de 0,5 L (Fisatom – Modelo 52M, 240 W); **05.** Coletor de amostras para análise;

Figura 3 - Vista da montagem do reator contínuo para produzir biodiesel com aquecimento por micro-ondas.



01. Tanque de alimentação; **02.** Agitador magnético; **03.** Plataforma elevatória tipo Jack; **04.** Bomba dosadora de diafragma solenóide **05.** Fonte de alta tensão; **06.** Tubo de alimentação; **07.** Reator tubular contínuo; **08.** Sistema de refrigeração a ar do gerador de micro-ondas; **09.**

Controlador de potência de micro-ondas; **10.** Cavidade retangular; **11.** Medidor de potência de micro-ondas, **12.** Termômetro (escala entre -20 °C e 300 °C); **13.** Tanque de saída; **14.** Válvula geradora de micro-ondas (Válvula magnetron);

Métodos:

Caracterização do tempo de residência do reator contínuo: Primeiramente testou-se a vazão do pulsar da bomba para sete potências (40% a 100%, de 10% em 10%). Para esta determinação, utilizou-se óleo *in natura* e corante lipossolúvel. A controle do tempo de residência foi realizada através da espectroscopia por UV-vis. Utilizou-se a Regra de Simpson para quantificar o tempo de residência.

Preparação da mistura reacional: Adicionou-se a quantidade descrita na Tabela 1 do óleo vegetal *in natura*, do metanol e do catalisador no tanque de mistura/alimentação. Em seguida iniciou-se a agitação do tanque há uma velocidade mínima para homogeneizar a mistura reacional.

Preparação do reator em batelada: Colocou-se os reagentes (sem o catalisador) no balão e o agitador magnético foi ligado. Após alguns minutos, a primeira amostra ser retirada, foi adicionado o catalisador e foi ligado o aquecimento elétrico.

Preparação do reator tubular contínuo: Preencheu-se totalmente o reator contínuo através do bombeamento da mistura reacional previamente homogeneizada até observar que a mistura reacional saiu pela outra extremidade do reator. A vazão de alimentação adotada foi de 68,7 mL/min.

Retirada dos ácidos graxos do óleo pós-consumo: Preparou-se uma solução de 1,5% de NaOH e misturou-se ela com o óleo pós-consumo (volume 1:1) com um misturador a uma temperatura média de 60 °C. Em seguida, a mistura foi transferida para um funil para separar a água do óleo emulsionado. Após esse processo, foi adicionado sulfato de magnésio ao óleo emulsionado (14 g por 100 mL). Por fim, para a separação final, a mistura foi colocada na centrífuga, onde ela virou 3 fases: óleo, base e água. A Figura 4 mostra como ficou o óleo usado após limpeza em comparação com o óleo *in natura* e o óleo pós consumo.

Figura 4 – Comparação entre o óleo *in natura* (esquerda), pós consumo (meio) e após a limpeza (direita).



Testes operacionais: iniciou-se a irradiação das micro-ondas ao reator acionando o gerador de micro-ondas na sua capacidade máxima (aprox. 900W irradiado) por 30 minutos. Amostras do produto de reação foram coletadas a cada 5 minutos para análise analítica. As potências de micro-ondas (irradiada e refletida) e as temperaturas do meio reacional foram coletadas por um medidor de potência e por um termômetro de contato instalado na saída do reator, respectivamente. Para determinar o rendimento da reação, amostras foram retiradas a cada 5 minutos. Para isso, foi pesado entre 250 mg e 260 mg em um balão volumétrico de 10

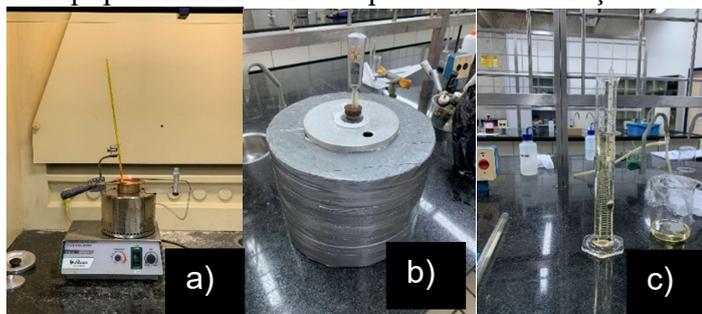
mL. Em seguida, foram adicionados 5 mL de uma solução de heptadecanoato de metila (5%), que foi preparada com heptano. Essa solução ajuda a ter uma alta precisão na quantificação do rendimento. O balão foi completado com heptano e, após homogeneizado, transferido para um vaule a ser analisado na Cromatografia a gás, que está representada na Figura 6. As especificações estão detalhadas na Tabela 2.

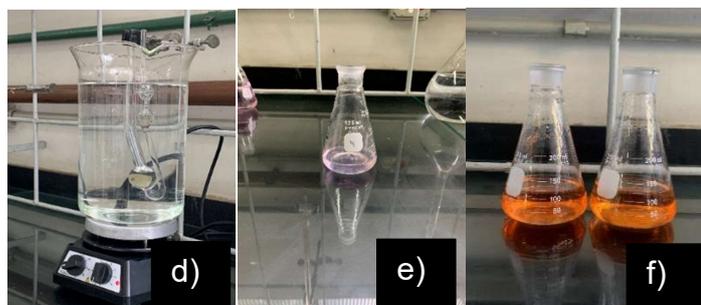
Purificação do biodiesel: o produto reacional foi inserido em um funil de decantação visando separar o biodiesel de seu subproduto, a glicerina. Após esta etapa de separação, adicionou-se uma solução de NaCl 10% para extrair impurezas e principalmente o catalisador não reagido. E para finalizar, um dessecante (cloreto de potássio) foi usado para extrair a água presente no biodiesel.

Caracterização do biodiesel (testes em triplicata): Foram feitos 6 testes para caracterizar o biodiesel segundo a norma ANP 07/2008. Eles são: massa específica, ponto de fulgor, ponto de fluidez, viscosidade, índice de acidez e índice de saponificação. A seguir encontra-se uma breve descrição de cada processo. Massa específica: aproximadamente 200 mL de biodiesel foi inserido em uma proveta de 250 mL. Em seguida, mergulhou-se o densímetro e esperou-se a estabilização do instrumento para anotar o resultado. Ponto de fulgor: 100 mL de biodiesel foi inserido em uma cuba que foi aquecida gradualmente. Durante o aquecimento, uma chama de ensaio foi passada sobre a superfície do biodiesel na cuba e, no momento em que uma faísca azul foi observada, anotou-se a temperatura. Ponto de fluidez: 55 mL de biodiesel foram transferidos para um tubo de Nessler, que foi resfriado em banho térmico específico para esta finalidade. A cada 3°C inclinava-se o tubo Nessler para verificar a fluidez do líquido biodiesel. No momento em que a fluidez não ocorreu, foi determinado a temperatura de fluidez com o auxílio de um termômetro. Viscosidade: o biocombustível foi inserido em um viscosímetro apropriado para a análise (Cannon-Fensk nº150). A amostra no interior do viscosímetro foi mergulhada em um banho aquecido, com temperatura controlada a 40 °C. O teste consiste em sugar o fluido e marcar o tempo em que ele demora ir do menisco superior ao inferior. Ao multiplicar o tempo obtido (em segundos) pelo valor tabelado do viscosímetro, se obtém a viscosidade. Para os ensaios de índice de acidez e saponificação, foram feitas titulações. Para o primeiro, utilizou-se 1 grama de biodiesel. A essa massa, foi adicionado 25 mL de uma solução de álcool etílico:éter etílico (1:2 v/v). Além disso, foram adicionadas 3 gotas de fenolftaleína e titulou-se a mistura com KOH 0,01 M previamente padronizado. Já para o segundo teste, uma massa entre 2,0 e 2,5 gramas foi transferida a um Erlenmeyer junto de 25 mL de uma solução de KOH. Também foi preparada um ensaio somente com KOH, que serviu como branco no cálculo. Essas misturas foram aquecidas durante 30 minutos e depois foram tituladas com uma solução de HCl previamente padronizada. Os testes estão representados na Figura 5.

O índice de acidez também foi utilizado para avaliar o tratamento do óleo pós consumo. A remoção de ácidos graxos do óleo é importante para a produção de biodiesel porque a acidez da matéria-prima é essencial para uma produção mais eficiente. Quando o óleo tem um alto índice de acidez e teor de água, a produção de biodiesel torna-se impraticável.

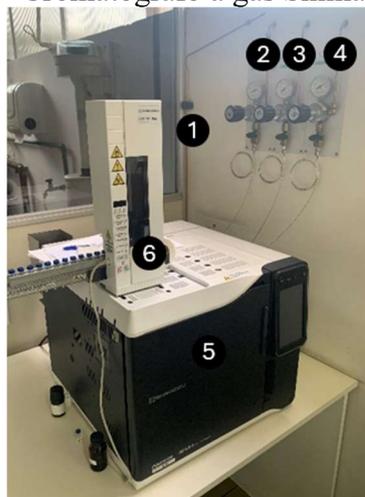
Figura 5 - Equipamentos utilizados para a caracterização do biodiesel.





a) ponto de fulgor; b) ponto de fluidez; c) massa específica; d) viscosidade; e) índice de acidez; f) índice de saponificação.

Figura 6 - Cromatógrafo a gás Shimadzu 2030.



01. Válvula reguladora de pressão para controle de fluxo gasoso; 02. Gás hélio; 03. Ar sintético; 04. Gás hidrogênio; 05. Coluna polar (Carbowax); 06. Injetor (vaporizador) de amostra

Tabela 2 - Condições nominais de execução do método analítico cromatográfico

Volume de amostra	0,1 μ L
Temperatura do injetor e detector	250 °C
Temperatura inicial	120 °C por 2 min
Rampa	10 °C/min até 180 °C, 3 min
	5 °C/min até 230 °C, 2 min
Tempo total de corrida	23 min
Split	1:50

Utilizando a fase do meio obtida na centrifuga, foi possível fazer a produção de sabão. O processo da produção foi: pesou-se 150 g de hidróxido de potássio em um béquer. Em seguida, foi dissolvido em 140 mL de água. Após isso, foram adicionados 800 g da base, 50 mL de álcool 70%, 50 mL de nonil fenol e 30 mL de essência de cupuaçu. Enquanto eles foram adicionados, foram também homogeneizados com o agitador magnético até completar a homogeneização. Em seguida, essa mistura foi transferida para um refratário, onde a mistura permaneceu por 12 horas até esfriar. Por fim, o sabão formado foi cortado em pedaços para poder ressecar por 72 horas (processo de cura). Pode-se observar como ficou o sabão após esse processo na Figura 7.

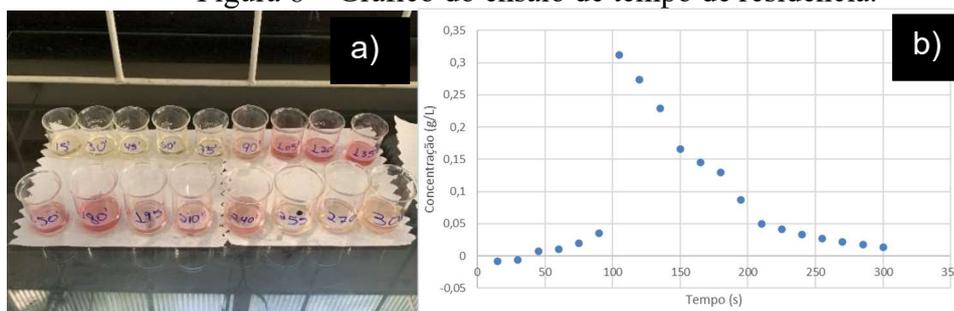
Figura 7 – Sabão produzido.



Resultados e Discussão

A análise no UV/visível permitiu quantificar a concentração das amostras retiradas e determinar o tempo de residência dentro do reator. O resultado obtido foi de 148,8 segundos e o gráfico de concentração (g/L) em função do tempo pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Gráfico do ensaio de tempo de residência.



a) amostras coletadas; b) gráfico das concentrações em função do tempo

O índice de acidez do óleo *in natura*, de acordo com os testes realizados, foi de 0,324 mg de KOH/g de amostra. O do óleo usado foi de 5,040, enquanto o do óleo pós-consumo após o tratamento (pós-consumo) foi de 0,338. Isso mostra que a método utilizado para diminuir o índice de acidez do óleo pós consumo teve um ótimo resultado. Esses resultados aparecem na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do índice de acidez do óleo.

Ensaio	Índice de acidez (mg KOH/g de amostra)		
	Óleo <i>in natura</i>	Óleo usado	Óleo após o tratamento
1	0,337	4,858	0,381
2	0,338	4,999	0,337
3	0,295	5,262	0,296
Média	0,324	5,040	0,338

As amostras de rendimento para os três procedimentos foram retiradas de 5 em 5 minutos e a amostra retirada aos 20 minutos do reator contínuo obteve erro na análise. Observou-se que o biodiesel produzido em reator em batelada (aquecimento elétrico), aos 30 minutos, teve um rendimento de 57,99% e um máximo aos 20 minutos, sendo 58,27%. O produzido em reator contínuo (aquecimento por micro-ondas) chegou aos 78,20% ao final do processo e teve um máximo aos 25 minutos, com 80,00%. Já para o biodiesel provido de óleo pós-consumo, o maior rendimento foi aos 3º minutos, com 52,26%. Observa-se que o

aquecimento com micro-ondas obteve um rendimento maior. Além disso, o rendimento de 5 a 30 minutos para os três projetos manteve-se constante, conforma a Tabela 4.

Tabela 4 – Rendimento da produção de biodiesel

Tempo	Batelada (<i>in natura</i>)		Contínuo (<i>in natura</i>)		Batelada (pós-consumo)	
	Massa (mg)	Rendimento (%)	Massa (mg)	Rendimento (%)	Massa (mg)	Rendimento (%)
0	253,6	0,00	254,8	41,56	251,5	0,00
5	251,4	52,51	252,0	77,51	252,2	50,95
10	252,1	55,66	256,0	78,26	251,6	50,32
15	253,7	57,54	257,6	77,11	255,6	48,19
20	257,9	58,27	-----	-----	251,6	48,79
25	251,8	57,62	253,0	80,00	251,9	50,87
30	252,0	57,99	251,5	78,20	254,2	52,26

Para o índice de acidez, o valor de 0,5 mg de KOH/g de amostra é o máximo admitido. O biodiesel produzido em reator em batelada com óleo *in natura* teve um valor médio de 0,461 mg de KOH/g de amostra. O combustível produzido em reator contínuo teve uma média de 0,604. Já para o biodiesel feito com óleo pós-consumo, o valor foi de 0,405. Esse teve o melhor resultado. Para este teste, somente o biocombustível feito com aquecimento de micro-ondas não ficou dentro do padrão. Os resultados podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do índice de acidez do biodiesel

Ensaio	Índice de acidez (mg KOH/g de amostra)		
	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)
1	0,431	0,735	0,435
2	0,475	0,623	0,346
3	0,477	0,453	0,433
Média	0,461	0,604	0,405

Para o índice de saponificação, o biodiesel do reator em batelada teve um valor médio de 185,8 mg de KOH/g de amostra. O valor médio do produto do reator contínuo foi de 188,4, enquanto o valor para biodiesel de óleo pós-consumo foi de 204,8, como indica a Tabela 6. Como não foi obtida a informação quanto ao padrão estabelecido pela ANP 07/2008, não se pode tirar conclusões quanto à qualidade do combustível para esse padrão de qualidade.

Tabela 6 – Índice de saponificação do biodiesel

Ensaio	Índice de saponificação (mg KOH/g de amostra)		
	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)
1	182,7	189,3	204,9
2	190,9	187,9	204,0
3	183,9	188,0	205,5
Média	185,8	188,4	204,8

O Ponto de Fulgor do biodiesel produzido pelos três métodos ficou acima do mínimo de 100 °C estabelecidos no padrão de qualidade brasileiro, sendo o biodiesel em reator contínuo 183,33 °C, o com aquecimento elétrico e óleo *in natura* 176,67 °C e o com óleo pós-consumo 171,5 °C, como pode-se observar na Tabela 7.

Tabela 7 – Ponto de fulgor do biodiesel

Ensaio	Temperatura Inicial (°C)			Temperatura final (°C)		
	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)
1	20,00 ⁽²⁾	22,00	25,00	170,00 ⁽²⁾	188,00	172,00
2	40,00 ⁽²⁾	23,00	25,00	176,00 ⁽²⁾	182,00	171,00
3	58,00 ⁽²⁾	23,00	-----	184,00 ⁽²⁾	180,00	-----
Média	39,33 ⁽²⁾	22,67	25,00	176,67 ⁽²⁾	183,33	171,50

No ponto de fluidez, a ANP 07/2008 não estabelece uma temperatura máxima de para esta caracterização. O valor médio do biodiesel feito com óleo *in natura* obtido do reator em batelada foi de -10,75 °C, enquanto o valor médio do produto obtido por reator contínuo foi de -7 °C. O biodiesel feito com óleo pós-consumo teve valor médio de 0 °C. A Tabela 8 contém os valores obtidos do teste.

Tabela 8 – Ponto de fluidez do biodiesel

Ensaio	Temperatura Inicial (°C)			Temperatura final (°C)		
	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)
1	-----	25,00	25	-11,50 ⁽²⁾	-8,00	-0,50
2	-----	25,00	25	-10,00 ⁽²⁾	-6,00	0,50
Média	-----	25,00	25	-10,75 ⁽²⁾	-7,00	0,00

Para o padrão de massa específica, ambos ficaram dentro do padrão estabelecido de 850 – 900 kg/m³. O valor médio do reator contínuo foi de 0,895 g/cm³, enquanto ambos do reator em batelada tiveram uma média de 880 kg/m³, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Massa específica do biodiesel

Ensaio	Massa específica (kg/m ³)		
	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)
1	-----	895	880
2	-----	895	880
3	-----	895	-----
Média	880 ⁽²⁾	895	880

Para a viscosidade cinemática, a ANP 07/2008 requer que os valores fiquem entre 3,0 e 6,0 mm²/s. Pode-se observar na Tabela 10 que isso não aconteceu com biodiesel produzido por micro-ondas (8,40 mm²/s) e óleo pós-consumo (7,15 mm²/s) em aquecimento elétrico, tendo os valores fora do padrão de qualidade, enquanto o combustível produzido por aquecimento elétrico ficou dentro do padrão definido.

Tabela 10 – Viscosidade cinemática

Ensaio	Tempo (s)			Viscosidade cinemática (mm ² /s)		
	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)	Batelada (<i>in natura</i>)	Contínuo (<i>in natura</i>)	Batelada (pós-consumo)
1	579,00 ⁽²⁾	239,90	197,68	4,63 ⁽²⁾	8,40	6,92
2	578,00 ⁽²⁾	238,70	212,56	4,62 ⁽²⁾	8,35	7,44
3	608,00 ⁽²⁾	241,10	202,31	8,86 ⁽²⁾	8,44	7,08
Média	588,33 ⁽²⁾	239,90	204,18	4,71 ⁽²⁾	8,40	7,15

Conclusões

Os resultados obtidos no reator contínuo aquecido por micro-ondas mostram que esse método de produção tem capacidade de substituir o método de aquecimento elétrico convencional. O rendimento médio de quase 80% durante 25 minutos do processo é maior que o obtido em reator em batelada, que teve máximo de 58,27% com óleo *in natura*. Os padrões de qualidade estabelecidos pela ANP 07/2008 foram atingidos em dois dos quatro padrões em que há valores determinados, sendo estes a massa específica e o ponto de fulgor.

Já para o processo realizado com o óleo pós-consumo, os resultados também mostram o grande potencial que o reuso do óleo tem. O rendimento do biodiesel produzido foi de 52,26%, ficando apenas, aproximadamente, 6% do biodiesel no mesmo reator feito com óleo *in natura*. Além disso, os padrões de qualidade ficaram dentro do estabelecido, somente com a viscosidade cinemática não tendo o valor atingido.

Esse estudo conseguiu resultados satisfatórios que, com novas ideias, como o uso de reator tubular helicoidal, pode fazer o uso de micro-ondas e do reuso do óleo pós-consumo parte do processo de produção do biodiesel.

Referências Bibliográficas

- GOVERNO FEDERAL. Brasil avança no setor de biocombustíveis. *Portal do Governo Brasileiro*, 12 jul. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/07/brasil-avanca-no-setor-de-biocombustiveis>. Acesso em: 02 set. 2024. (1)
- Bertucci, B. L.; Castro, E. R.; Nascimento, R. B. *PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM REATOR CONTÍNUO IRRADIADO COM MICRO-ONDAS*. Universidade Mauá, 2023. Disponível em: <https://www.maua.br/files/bertucci-castro-1702303091.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024. (2)
- PROPEQ. Reatores industriais: como escolher o melhor para o seu processo. Disponível em: <https://propeq.com/como-escolher-o-melhor-reator-industrial-para-seu-processo/>. Acesso em: 26 ago. 2024. (3)
- Khan, H. M.; Iqbal, T.; Mujtaba, M. A.; Soudagnar, M. E. M.; Veza, I.; Fattah, I. M. R. Microwave Assisted Biodiesel Production Using Heterogeneous Catalysts. *Energies*, v. 14, n. 23, art. 8135, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/23/8135>. Acesso em: 26 ago. 2024. (4)
- Rhithuparna, D.; Nabanita, G.; Rokhum, S. L.; Halder, G. Current progress and future outlooks of microwave-irradiated biodiesel production: A holistic review. *Chemical Engineering Journal*, v. 475, p. 122174, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894724005187>. Acesso em: 26 ago. 2024. (5)
- ARAÚJO, Elaine Patrícia. **Reciclagem de óleos vegetais pós-consumo: uma alternativa para sustentabilidade**. In: Congresso Nacional de Educação. 18 a 20 de setembro de 2014. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2014/Modalidade_4datahora_26_07_2014_18_06_56_idinscrito_3170_c8b50f5145b8b445dbff93959c68ea1a.pdf. Acesso em: 4 de novembro de 2024. (6)