Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

PRODUÇÃO DE BIODISEL A PARTIR DA CATÁLISE HETEROGÊNEA COM CASCA DE OVO

BIODIESEL PRODUCTION FROM CATALYSIS HETEROGENEOUS WHIT EGGSHELL

João Victor Ferreira dos Santos, Maria Eduarda Cardoso Miranda, Letícia Jatczak Almeida, Isabella de Lorena Silva Gonçalves, Vitor da Silva Rosa, Nelize Maria de Almeida Coêlho

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: jvferreira1104@gmail.com

RESUMO – Nas últimas décadas, devido às políticas de incentivo às energias renováveis e à necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, o biodiesel destacou-se como uma alternativa viável para mitigar as mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável. Este estudo avaliou a produção de biodiesel metílico por catálise heterogênea, utilizando óxido de cálcio (CaO) derivado de casca de ovo calcinada. O trabalho envolveu a preparação do catalisador, seguida da esterificação e transesterificação do óleo de soja com metanol. Os resultados indicaram eficiência de conversão média de 76,82% e propriedades físico-químicas do biodiesel dentro das normas, reforçando o potencial da casca de ovo como catalisador na produção de biodiesel.

Palavras-chave: Biodiesel; Catalisador; Casca de ovo; Óleo de Soja; Sustentável.

ABSTRACT – In recent decades, driven by policies promoting renewable energy and the need to reduce dependence on fossil fuels, biodiesel has emerged as a viable alternative for mitigating climate change and fostering sustainable development. This study evaluated the production of methyl biodiesel through heterogeneous catalysis using calcium oxide (CaO) derived from calcined eggshells. The study involved the preparation of the catalyst, followed by the esterification and transesterification of soybean oil with methanol. The results demonstrated an average conversion efficiency of 76,82%, whit the physicochemical properties of the biodiesel within the limits established by the applicable standards, reinforcing the potential of using eggshells as a catalyst in biodiesel production.

Keywords: Biodiesel; Catalyst; Eggshell; Soybean Oil; Sustainable.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem-se observado um aumento na demanda energética global e a crescente preocupação com os impactos ambientais. Esse avanço é resultado de diversos fatores, entre eles o crescimento populacional, o avanço industrial e o aumento do consumo de energia; o incentivo de políticas públicas voltadas ao uso de fontes renováveis de energia, em expressivo na produção mundial de biodiesel. (Mata et al., 2012).

Devido ao biodiesel ser um combustível renovável, biodegradável e que emite menos poluentes que o diesel fóssil, destaca-se como uma ótima alternativa de investimento para o avanço sustentável de energias. A principal razão para sua adoção está na capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, além de participar no ciclo de carbono na atmosfera, uma vez que o dióxido de carbono liberado na sua queima é absorvido pelas plantas durante o cultivo das matérias-primas dos óleos usados na sua produção, contribuindo assim para a mitigação dos impactos ambientais decorrentes do uso de fontes fósseis (Luke et al., 2008).

Além dos benefícios ambientais, a produção do biodiesel pode estimular o desenvolvimento sustentável ao proporcionar oportunidades econômicas para populações rurais e agricultores, alavancando economias locais. Outro ponto positivo refere-se à segurança energética, já que o biodiesel pode ser produzido nacionalmente a partir de diferentes fontes, como óleos vegetais e gorduras animais (Luke et al., 2010).

A esterificação, reação de rota ácida entre ácido carboxílico e álcool formando éster e água, é uma das etapas da produção de biodiesel, etapa prévia de tratamento do óleo. A síntese é responsável por converter os ácidos graxos livres presentes nos óleos, em biodiesel, que posteriormente na reação de transesterificação de catálise alcalina podem acabar formando sabão como produto. Esse processo é essencial para maximizar o rendimento da produção, uma vez que previne a formação de subprodutos tornando o processo mais eficiente.

O processo mais utilizado para a obtenção do biodiesel é a transesterificação, uma reação química que transforma os triglicerídeos dos óleos e gorduras em ésteres de ácidos

ISSN 2317-1316

graxos (biodiesel) e glicerol (Bernardes et al., 2007). Essa reação pode ser acelerada por ácidos, bases ou enzimas, que atuam como catalisador. Sendo os catalisadores alcalinos os mais empregados por sua alta eficiência e baixo custo. No entanto, tais catalisadores enfrentam limitações como a dificuldade de separação após a reação e a formação de sabões na presença de água ou ácidos graxos livres.

Nos últimos anos, os esforços de pesquisa têm se voltado para o desenvolvimento de catalisadores heterogêneos, que possibilitam uma separação mais fácil do biodiesel ao final do processo, além de permitir a reutilização do material. Entre os catalisadores estudados destacam-se óxidos metálicos, zeólitas e biocatalisadores obtidos a partir de resíduos.

Dentre as inovações promissoras na área de catálise heterogênea, destaca-se a utilização da casca de ovo como fonte de catalisador para a produção de biodiesel. Esse resíduo, constituído majoritariamente por carbonato de cálcio ($CaCO_3$), pode ser transformado em óxido de cálcio (CaO) por meio de calcinação, processo de decomposição térmica da matéria orgânica (Yasar, 2019).

Esse material, além de ser barato e amplamente disponível, apresenta boa atividade catalítica na reação de transesterificação de óleos vegetais. Pesquisas indicam que catalisadores obtidos da casca de ovo são eficazes, reutilizáveis e oferecem uma abordagem sustentável para o aproveitamento de resíduos, posicionando se como uma alternativa interessante aos catalisadores tradicionais (Buasri et al., 2013).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consistiu em um estudo experimental voltado à produção de biodiesel por catálise heterogênea, utilizando óxido de cálcio (CaO) obtido a partir da calcinação de cascas de ovo. Foram utilizados óleo de soja e metanol como reagentes nas etapas de esterificação e transesterificação. As variáveis experimentais avaliadas foram a razão molar óleo:metanol, nas proporções de 1:9 e 1:12, e o teor de catalisador, correspondente a 1% e 2% da massa de óleo. Os ensaios de produção de biodiesel foram

ISSN 2317-1316

realizados em triplicata para cada condição experimental, visando aumentar a confiabilidade dos resultados. O estudo foi desenvolvido em quatro etapas principais: preparação do catalisador, esterificação do óleo de soja, transesterificação e caracterização físico-química do biodiesel produzido.

O processo de preparação do catalisador iniciou-se com a lavagem das cascas de ovo em água corrente. Ainda úmidas, as membranas internas foram removidas e as cascas foram levadas à estufa a 105 °C por 12 horas para secagem. Após essa etapa, o material seco foi triturado em liquidificador e submetido à peneiração vibratória, sendo selecionada a fração granulométrica de 100 mesh. Em seguida, as cascas foram submetidas à calcinação em mufla a 900 °C por 3 horas, visando à conversão do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) em óxido de cálcio (CaO), material que apresenta atividade catalítica. Por fim, o catalisador obtido foi armazenado em béquer fechado, mantido em dessecador, a fim de minimizar o contato com a umidade do ar e preservar suas propriedades.

Inicialmente, o óleo de soja era pesado e submetido à secagem em balão de fundo reto, sobre chapa aquecedora, a 60 °C durante 1 hora, com o objetivo de reduzir o teor de umidade. Após essa etapa, realizava-se a reação de esterificação, utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) na proporção de 3,5% em relação à massa de óleo e metanol na razão molar (óleo: álcool) de 1:6. A reação era conduzida a 65 °C durante 1 hora sob o mesmo de sistema da secagem do óleo. Ao término, a mistura reacional era transferida para um funil de separação, onde permanecia em repouso por 24 horas para permitir a separação das fases aquosa e oleosa. A fase oleosa era então recolhida e submetida a uma nova etapa de secagem, a 60 °C durante 1 hora, antes de ser utilizada na etapa subsequente do processo.

Para a realização da transesterificação, após o resfriamento, o óleo esterificado era pesado para determinar as quantidades de catalisador e metanol necessárias para cada ensaio, de acordo com as variáveis previamente estabelecidas no planejamento experimental. Inicialmente, o metanol e o catalisador eram adicionados a um balão de fundo reto, mantido sob agitação magnética em chapa aquecedora, à temperatura

ISSN 2317-1316

ambiente, durante 30 minutos. Em seguida, o óleo era adicionado ao sistema, que era aquecido até 65 °C, mantendo-se a reação por 2 horas. Todas as etapas da reação de esterificação e transesterificação eram realizadas no interior de uma capela de exaustão e utilizava-se um condensador acoplado ao balão para promover a condensação dos vapores de metanol, visando à segurança durante o manuseio dos reagentes.

Após o término da reação, o sistema era resfriado e a mistura reacional submetida à centrifugação a 2500 rpm durante 15 minutos, visando à separação das fases e dos componentes presentes, incluindo biodiesel, glicerina e catalisador residual. Posteriormente, o biodiesel separado era submetido ao processo de lavagem em béquer, utilizando 50 mL de água a 50 °C e sulfato de sódio na proporção de 1,5% em relação à massa de biodiesel, sob agitação magnética em chapa aquecedora. Após o tratamento, o biodiesel era aquecido a 120 °C para remoção da umidade residual e, em seguida, filtrado, obtendo-se o produto final para as análises posteriores.

Para a caracterização físico-química do biodiesel, foram avaliados a densidade, o índice de acidez e o índice de iodo. A determinação da densidade foi realizada utilizando um picnômetro de vidro de 25 mL. Inicialmente, o recipiente vazio foi pesado e, em seguida, preenchido com biodiesel, ultrapassando ligeiramente o limite de sua capacidade para garantir o preenchimento completo, com posterior remoção do excesso. O conjunto foi pesado novamente e a temperatura do biodiesel no momento da medição foi registrada. Os valores obtidos foram utilizados na Equação (1) para o cálculo da densidade. Posteriormente, o resultado foi corrigido para a temperatura de referência de 20 °C, por meio de interpolação nas tabelas de coeficientes para correção da densidade, estabelecidas pela Resolução nº 6/70 do Conselho Nacional do Petróleo (CNP).

$$\rho = \frac{m_{biodiesel} - m_{picnômetro}}{V_{picnômetro}} \qquad (1)$$

Em que: (ρ) corresponde a densidade do biodiesel (g/cm^3); ($m_{biodiesel}$) é a massa da amostra de biodiesel (g); ($m_{picnômetro}$) é a massa do pcinômetro (g); ($V_{picnômetro}$) corresponde ao volume nominal do picnômetro (mL).

ISSN 2317-1316

A determinação do índice de acidez foi realizada por titulação, utilizando uma solução de hidróxido de potássio (KOH) a 0,02 mol/L como titulante. Inicialmente, aproximadamente 2 g de biodiesel foram pesados em um Erlenmeyer de 125 mL e dissolvidos em 25 mL de uma solução de éter-álcool na proporção 2:1. Em seguida, foram adicionadas três gotas de fenolftaleína como indicador. A titulação foi realizada com o auxílio de uma bureta, adicionando-se a solução de hidróxido de potássio até o aparecimento de uma coloração rosa persistente por 30 segundos, indicando o ponto final da análise. Os ensaios foram realizados em duplicata, visando aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos. Por fim, os volumes de hidróxido de potássio consumidos foram utilizados na Equação (2) para calcular o índice de acidez, expresso em mg KOH/g de biodiesel.

$$IA = \frac{V \times N \times f \times 56{,}1}{m} \quad (2)$$

Em que: (IA) corresponde ao índice de acidez (mg KOH/g); (N) é a concentração da solução de hidróxido de potássio (mol/L); (fc) representa o fator de correção da concentração de hidróxido de potássio; (MM) é a massa molar do hidróxido de potássio (g/mol); (V) corresponde ao volume de hidróxido de potássio consumido na titulação da amostra (mL); (m) é a massa da amostra de biodiesel (g).

A determinação do índice de iodo foi realizada por titulação, utilizando o reagente de Wijs. Inicialmente, aproximadamente 0,15 g de biodiesel foram pesados em um Erlenmeyer de 500 ml. Em seguida, em capela de exaustão, foram adicionados 10 ml de ciclohexano P.A. e 10 ml de ácido acético glacial P.A., promovendo a dissolução da amostra. Posteriormente, foram adicionados 25 ml do reagente de Wijs, e a solução foi homogeneizada. O Erlenmeyer foi tampado com uma tampa de vidro e mantido ao abrigo da luz por uma hora.

Para a realização da titulação, foram preparadas uma solução de amido a 5 g/L, utilizada como indicador, uma solução de iodeto de potássio a 100 g/L e uma solução de tiossulfato de sódio a 0,1 mol/L, utilizada como titulante.

ISSN 2317-1316

Após o período de repouso, foram adicionados 20 mL da solução de iodeto de potássio e 150 mL de água deionizada ao Erlenmeyer, seguido de homogeneização. A solução resultante apresentou coloração avermelhada e foi titulada com tiossulfato de sódio até atingir uma coloração amarelo-clara. Nesse ponto, foram adicionados 1,5 mL da solução de amido, provocando uma mudança de coloração para verde-escuro. A titulação foi então continuada até o desaparecimento da coloração, resultando em uma solução branca.

O mesmo procedimento foi realizado para a determinação do branco, utilizando os reagentes nas mesmas condições, porém sem a adição de biodiesel. Esse ensaio permitiu determinar o volume de titulante correspondente aos reagentes na ausência da amostra. Por fim, os volumes obtidos nas titulações da amostra e do branco foram aplicados à Equação 3 para o cálculo do índice de iodo, expresso em g I_2/100 g de biodiesel.

$$IV = \frac{12{,}69 \times C \times (V_b - V_s)}{m} \quad (3)$$

Em que: (IV) corresponde ao índice de iodo (g I_2/100 g); (C) é a concentração da solução de tiossulfato de sódio (mol/L); (Vb) representa o volume de tiossulfato de sódio consumido na titulação do branco (ml); (Vs) corresponde ao volume de tiossulfato de sódio consumido na titulação da amostra (ml); (m) é a massa da amostra de biodiesel (g); e 12,69 é o fator de conversão utilizado no cálculo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram o potencial do óxido de cálcio (CaO) proveniente da casca de ovo como catalisador heterogêneo na produção de biodiesel metílico a partir de óleo de soja. Nos doze ensaios válidos, os rendimentos variaram entre 59,53% e 88,86%, com rendimento médio de 76,82%. O maior rendimento foi obtido no Teste 1, com 88,86%, indicando um resultado promissor para a condição experimental avaliada. A Figura 1 apresenta os demais valores encontrados experimentalmente para o rendimento da produção.

ISSN 2317-1316

Figura 1: Rendimento do biodiesel

Teste	Massa de Óleo (g)	Massa de Biodisel (g)	Rendimento (%)
1	67,30	59,8	88,86
2	75,52	62,41	82,64
3	84,26	71,38	84,71
4	51,54	38,45	74,60
5	60,25	51,07	84,76
6	67,70	55,76	82,36
7	70,01	56,94	81,33
8	70,72	52,88	74,77
9	70,80	54,21	76,57
10	60,81	41,23	67,8
11	61,25	39,17	63,95
12	70,01	41,68	59,53

Em relação à densidade, a maior parte dos ensaios apresentou valores dentro da faixa de referência, enquanto alguns resultados ficaram próximos e acima do limite especificado. A Figura 2 apresenta os demais valores encontrados experimentalmente para a densidade do biodiesel.

Figura 2: Densidade do biodiesel

Teste	Densidade (g/cm³)
1	0,8720
2	0,9361
3	0,9244
4	0,8947
5	0,8754
6	0,8965
7	0,8825
8	0,8892
9	0,8802
10	0,8675
11	0,8617
12	0,8387

ISSN 2317-1316

Para o índice de acidez, a maioria dos ensaios apresentou valores dentro do limite estabelecido, com resultados entre 0,18 e 0,83 mg KOH/g. A Figura 3 apresenta os demais valores encontrados experimentalmente para índice de acidez.

Figura 3: Índice de acidez do biodiesel

Teste	Volume KOH (mL)	Massa de Biodisel (g)	Índice de Acidez (mgKOH/g)
1	1,7	2,08	0,81
1	1,8	2,10	0,85
2	0,6	2,18	0,27
2	0,9	2,10	0,42
3	1,4	2,07	0,67
3	0,9	2,05	0,44
4	0,9	2,08	0,43
4	0,9	2,07	0,43
5	0,4	2,23	0,18
5	0,3	2,18	0,14
6	0,9	2,06	0,43
6	0,6	2,10	0,28
7	0,5	2,24	0,22
7	0,6	2,27	0,26
8	0,5	2,08	0,24
8	0,5	2,15	0,23
9	0,6	2,08	0,29
9	0,7	2,10	0,33
10	0,7	2,50	0,28
10	0,8	2,28	0,35
11	0,5	2,18	0,23
11	0,7	2,26	0,31
12	0,7	2,16	0,32
12	0,6	2,14	0,28

Destaca-se os Testes 10, 11 e 12, realizados com razão metanol: óleo de 12:1 e 2% de catalisador, que apresentou resultados favoráveis para densidade e índice de acidez. Entretanto obtiveram rendimento menor quando comparado aos demais ensaios de condições diferentes.

O índice de iodo apresentou resultados próximos ao limite de referência, variando entre 100,56 e 121,99 g I_2/100 g. A Figura 4 apresenta os demais valores encontrados experimentalmente para índice de acidez.

Figura 4: Índice de acidez do biodiesel

Teste	Massa de Biodisel (g)	Volume $Na_2S_2O_3$ (mL)	Índice de Iodo (g I_2 / 100g)
1	0,158	38,60	107,55
2	0,1533	27,80	118,01
3	0,1670	36,70	114,55
4	0,1522	37,20	121,99
5	0,165	28,50	109,12
6	0,1645	29,80	100,56
7	0,1556	28,00	115,71
8	0,1467	30,70	105,86
9	0,1524	28,60	117,4
10	0,1548	29,50	108,31
11	0,1537	28,80	114,21
12	0,156	29,00	111,09

ISSN 2317-1316

De modo geral, os resultados foram satisfatórios para parte das condições avaliadas, embora algumas ainda necessitem de otimização. A influência da concentração de catalisador sobre a reação foi observada preliminarmente nos testes realizados com 2% de catalisador e razão metanol:óleo de 12:1, nos quais houve uma redução progressiva do rendimento obtido. Em contrapartida, nas condições com razão metanol: óleo de 9:1 e 2% de catalisador, os rendimentos obtidos foram semelhantes entre os ensaios, indicando um comportamento diferente daquele observado na razão de 12:1. Além disso, embora os testes com 2% de catalisador e razão metanol: óleo de 12:1 tenham apresentado os menores rendimentos, as propriedades físico-químicas avaliadas nessa condição foram as mais favoráveis em comparação às demais condições estudadas.

Por outro lado, os testes realizados com 1% de catalisador e razão metanol: óleo de 9:1 apresentaram rendimentos mais elevados, porém os resultados de índice de acidez e densidade ficaram fora dos limites estabelecidos pelas respectivas normas de referência. Esses resultados indicam que o aumento do rendimento não necessariamente corresponde à obtenção de biodiesel com propriedades físico-químicas adequadas. Dessa forma, a concentração de catalisador e a razão metanol: óleo podem influenciar de maneira distinta o rendimento e a qualidade do produto, sendo necessários novos ensaios para compreender melhor essa relação e verificar a reprodutibilidade dos resultados observados.

Apesar dos resultados satisfatórios para algumas condições, outras apresentaram propriedades físico-químicas fora dos limites de referência. Assim, os resultados obtidos não permitem definir uma condição ótima para o processo, mas fornecem indicativos importantes para a continuidade da pesquisa. Como possibilidade de estudos futuros, recomenda-se repetir os testes com 2% de catalisador e razão metanol: óleo de 12:1, a fim de verificar a reprodutibilidade da redução do rendimento, bem como realizar novos ensaios com concentrações de catalisador próximas a 1%, tanto ligeiramente inferiores quanto superiores. Também é importante reavaliar as condições com 1% de catalisador e razão metanol: óleo de 9:1, buscando melhorar o índice de acidez e a densidade sem comprometer o rendimento. Dessa forma, será possível investigar com maior precisão a

ISSN 2317-1316

influência dessas variáveis e buscar condições que conciliem maior rendimento e propriedades físico-químicas dentro dos padrões estabelecidos.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu avaliar a produção de biodiesel metílico a partir de óleo de soja, utilizando CaO obtido por meio da calcinação de cascas de ovos como catalisador heterogêneo, bem como investigar a influência da razão metanol: óleo e da concentração de catalisador sobre o rendimento e as propriedades físico-químicas do produto. Os resultados demonstraram que as condições reacionais influenciaram o desempenho do processo, não sendo possível estabelecer uma condição fixa com base nos ensaios realizados. Dessa forma, embora os resultados indiquem o potencial de utilização de cascas de ovos na obtenção de catalisador heterogêneo, são necessários estudos adicionais para confirmar essas observações e otimizar as condições reacionais. Recomenda-se repetir os ensaios com 2% de catalisador e razão metanol: óleo de 12:1, além de avaliar concentrações próximas a 1%, buscando conciliar rendimento satisfatório e propriedades físico-químicas dentro dos padrões estabelecidos. Assim, o trabalho contribuiu para ampliar o conhecimento sobre o aproveitamento de resíduos na produção de biodiesel e estabeleceu perspectivas para a continuidade da pesquisa.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Declaração de Uso de IA: Durante a elaboração deste trabalho, utilizou-se a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, para revisão gramatical e auxílio na tradução do texto para a língua inglesa. O conteúdo gerado foi revisado, editado e validado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo texto final.

6 REFERÊNCIAS

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

Bernardes, O. L., Bevilaqua, J. V., Leal, M. C. M. R., Freire, D. M. G., & Langone, M. A. P. (2007). Applied Biochemistry and Biotechnology, 136−140(1−12), 105−114.

ISSN 2317-1316

Bhale, P. V., Deshpande, N. V., & Thombre, S. B. (2009). Improving the low tem-perature properties of biodiesel fuel. Renewable Energy, 34(3), 794-800. doi:10.1016/j.renene.2008.04.037.12.

Bouaid, A., Bajo, L., Martinez, M., & Aracil, J. (2007). Optimization of biodiesel production from jojoba oil. Process Safety and Environmental Protection, 85(5), 378-382. doi:10.1205/psep07004.

Buasri, A., Chaiyut, N., Loryuenyong, V., Wongweang, C., & Khamsrisuk, S. (2013). Application of eggshell wastes as a heterogeneous catalyst for biodiesel production. Sustainable Energy, 1(2), 7-13.

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

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.

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

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

Nielsen, P. M., & Rancke-Madsen, A. (2011). Lipid Technology, 23(10), 230−233.

Pacini, H., & Sanches-Pereira, A. (2014). The state of the biofuels market: regulatory, trade and development perspectives. Trade Environment, Climate Change and Sustainable Development Branch, UNCTAD.

Taher, H., & Al-Zuhair, S. (2017). Emerging green technologies for biodiesel production. Frontiers in Bioenergy and Biofuels. doi:10.1007/s11746-010-1682-7.

Yaşar, F. (2019). Biodiesel production via waste eggshell as a low-cost heterogeneous catalyst: Its effects on some critical fuel properties and comparison with CaO. Fuel, 255, 115828.