

VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE SOJA VIA CATÁLISE HOMOGÊNEA E HETEROGÊNEA COM E SEM DESTILAÇÃO REATIVA

Yan Valdez Santos Rodrigues¹; Filipe Matos Diniz²; Cristiane Leal²; Reinaldo Coelho Mirre²; Rogério Navarro Correia de Siqueira³; Fernando Pellegrini Pessoa²

¹ Graduando em Engenharia Química; PRH 27.1 ANP FINEP; yanvaldez@gmail.com

² Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; cristiane.leal@fiab.org.br e fernando.pessoa@fiab.org.br

³ PUC-Rio; Rio de Janeiro-RJ.

RESUMO

O biodiesel é um biocombustível sintetizado a partir da transesterificação de óleos vegetais como o óleo de soja e girassol, e nessa reação utilizam-se catalisadores como NaOH ou Mg(OCH₃)₂ que são, respectivamente, catalisadores homogêneo e heterogêneo, para aumentar o rendimento e a viabilidade do processo em larga escala. Além disso, as plantas industriais na atualidade podem utilizar-se da destilação reativa para reduzir custo em equipamentos e unificar a operação de colunas e reatores em único equipamento. O presente trabalho visa comparar o processo de produção de biodiesel a partir de óleo de soja com catalisador homogêneo e heterogêneo, com ou sem destilação reativa, através da viabilidade econômica de processos desenvolvidos em simulador de processos a partir de um caso base modificado do simulador.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem, biodiesel de soja, catalisadores, destilação reativa.

1. INTRODUÇÃO

As preocupações com o esgotamento dos combustíveis fósseis convencionais têm causado uma busca por combustível renovável alternativo. Um dos combustíveis alternativos nesse contexto é o biodiesel, por ser renovável, biodegradável e menos poluente que o diesel mineral, que consiste em ésteres metílicos de ácidos graxos obtidos através da reação de transesterificação de óleos. Essa reação é caracterizada pela combinação de triglicerídeos com uma base ou ácido (catalisador) e um álcool (metanol ou etanol), produzindo ésteres metílicos, ou etílicos, e subproduto glicerol. Dentre as fontes de óleo, por volta de 69% da produção global de biodiesel é obtida a partir dos óleos vegetais comestíveis, como óleo de soja. Quanto aos catalisadores existem os homogêneos, heterogêneos e enzimáticos. Dentre os homogêneos, que são usados em âmbito industrial há décadas ácidos e bases fortes, tem-se o ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio. Entre os heterogêneos, diversos catalisadores estão em pesquisa e desenvolvimento, como metóxido de magnésio e dióxido de zircônio e para os enzimáticos as lipases.^{1, 2, 3, 4}

Além disso, a intensificação de processos leva a possibilidade de redução do número de equipamentos, ao se utilizar a unificação de fenômenos, como no caso da destilação reativa, que possibilita unificar a reação química com a separação dos produtos em um único equipamento. Nesse contexto, para o desenvolvimento de plantas industriais é feita a simulação computacional, a fim de verificar as diferentes possibilidades de equipamentos e comparar a viabilidade econômica para cada fluxograma. Dessa forma, o presente trabalho visa, por meio de simulação computacional, comparar o processo de produção de biodiesel de soja com um catalisador homogêneo e heterogêneo, com e sem destilação reativa, e verificar sua viabilidade econômica.⁵

2. METODOLOGIA

O processo foi desenvolvido através do simulador Aspen Plus® e os valores de equipamentos, matéria prima, utilidades e produtos foram retirados do *Economic Analyzer* do Aspen e da literatura. Nesse processo, foi considerado o fluxograma de produção de biodiesel via catálise homogênea com catalisador presente na lista de exemplos do Aspen, que possui o fluxograma e modelo termodinâmico determinada pelos autores Zhang e colaboradores⁶, que utilizaram óleo residual de fritura em seu trabalho. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram alteradas a composição e a cinética do exemplo, a fim de representar o biodiesel de óleo de soja em catalisador homogêneo usando as taxas cinéticas de Narváez et al.^{2, 6 e 7} e a composição de triglicerídeos pelo trabalho de Firestone (2006), fazendo deste o caso base. Foram feitas alterações no fluxograma para representar a catálise heterogênea, usando a taxa cinética de Huang e colaboradores.^{6 e 8}

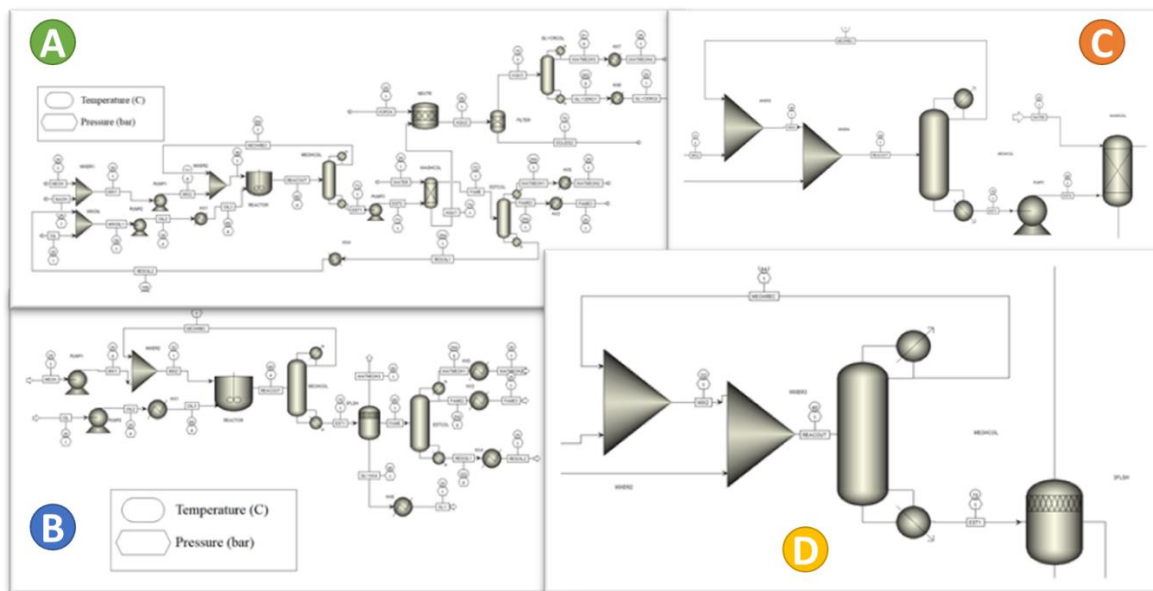
Além disso, em ambos os casos foram feitas alterações posteriores para simular a destilação reativa e, por fim, foi realizada a avaliação econômica conforme a metodologia de Bárbara e colaboradores⁹, que se baseia no método determinístico, considerando o investimento nos limites da unidade de produção (ISBL), a

previsão de receita, de custos e despesas, equipamento, fluxo de caixa, valor presente líquido (VPL), taxa mínima de atratividade (TMA), taxa interna de retorno (TIR) e *payback* descontado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as adaptações no fluxograma inicial e desenvolvido o caso base via catálise homogênea, este foi alterado para desenvolver o caso base da via heterogênea e foi feita a adaptação em ambos os casos para inserir a destilação reativa, como observa-se na Figura 1.

Figura 1 – Fluxogramas via homogênea (A), via heterogênea (B) e adaptação para destilação reativa (C e D).

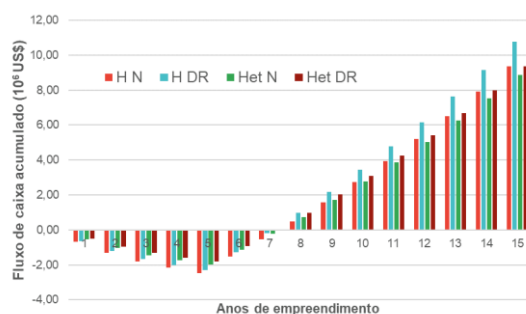


Foi utilizada a norma da ANP (RANP 45) a fim de verificar se o biodiesel passa pelos critérios de qualidade e, posteriormente, foi realizada a avaliação econômica, através de valores do ISBL, receita e, baseado na metodologia, necessitou de algumas especificações como: o período de 200 dias, ciclos de 24 horas de produção e preço de matéria prima e utilidade. Todas essas informações estão dispostas na Tabela 1 e em seguida foi feito o fluxo de caixa acumulado e ajustado de todos os processos sendo possível chegar ao perfil da Figura 2.

Tabela 1 – Preço de matéria prima e utilidade (A), Considerações (B), Resultado da modelagem comparado com o critério da norma ANP (C), ISBL (D), receita (D), indicadores econômicos e outros (D e E).

(A) Preço de de matéria prima e utilidade (\$)		(C) Resultado da modelagem comparado com o critério da norma ANP:						
Vapor Saturado	1,70E-02	Propriedade	Unidade	ANP	H N	H DR	Het N	Het DR
Vapor Superaquecido temperatura baixa	2,10E-02	Teor de éster (BIO DIESEL)	% m	96,50	99,90	99,88	99,86	99,86
Vapor Superaquecido temperatura alta	2,50E-02	Glicerol livre	% m	0,02	0,00E+00	0,00E+00	1,81E-02	1,91E-02
Água de refrigeração e serviço	1,20E-04	Triacilglicerol	% m	0,20	1,31E-11	6,75E-13	1,87E-05	5,09E-07
Água de processo	3,00E-03	Metanol e/ou Etanol	% m	0,20	4,90E-03	5,78E-03	1,23E-01	1,23E-01
Biodiesel	2,22	Viscosidade Cinética	cp	4,50 ± 1,50	3,25	3,26	3,26	3,26
Glicerol (C3H8O3)	0,12	Massa específica	kg/m3	875,00 ± 25,00	883,16	883,2	882,99	882,99
Metanol (CH3OH)	0,46	Peso mol. Médio	g/mol	-	291,94	291,94	292,09	292,07
Óleo (Majoritário TAG OLIL)	0,21	(D) Resultados dos indicadores economicos, ISBL, Receita e outras características:				(E) Viabilidade		
Catalisador (NaOH 20%)	0,26	Característica	H N	H DR	Het N	Het DR	Processo	VPL e TIR
Catalisador (Mg[OCH3]2)	10,00	Capital de giro (\$)	2,35E+05	2,20E+05	1,92E+05	1,77E+05	H N	(+) e (+)
H3PO4 20% (Ácido fosfórico)	0,417	ISBL (\$)	2,35E+06	2,20E+06	1,92E+06	1,77E+06	H DR	(+) e (+)
(B) Consideração da avaliação econômica:		Custos gerais de processo (\$)	5,99E+05	5,62E+05	4,91E+05	4,52E+05	Het N	(+) e (+)
Impostos	20,0%	Receita (\$)	8,14E+06	8,32E+06	7,46E+06	7,52E+06	Het DR	(+) e (+)
Inflação	5,0%	VPL (\$)	1,39E+07	1,45E+07	1,30E+07	1,34E+07	De acordo com VPL > 0 e TR > TMA Todos os processo são viáveis.	
Juros de referência (TMA)	10,0%	TIR (%)	22,06%	24,85%	24,22%	26,31%		

Figura 2 – Resultado de fluxo de caixa acumulado para HN (Homogêneo), H DR (Homogêneo com destilação reativa), He (Heterogêneo), H DR (Heterogêneo com destilação reativa).



Por fim, foi possível observar que o processo que apresentou a maior viabilidade técnica-econômica foi o que utiliza a catálise homogênea com destilação reativa, e isso se deu devido à redução de custos dos equipamentos e utilidades oferecidos pela retirada do reator e utilidades, o que também ocorre no caso heterogêneo, mas em menor efeito já que o custo do catalisador é superior e como observa-se na Tabela 01 faz a receita dos casos heterogêneos serem menores que o caso homogêneo mesmo possuindo menos equipamentos e menor investimento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível alcançar o objetivo de simular os fluxogramas de processo aplicados à produção do biodiesel via catálise homogênea e heterogênea e realizar a intensificação com a inserção da destilação reativa, e concluir com uma avaliação econômica. Na modelagem foi possível perceber a importância futura de uma simulação mais aprofundada e com comprovação experimental e, na avaliação econômica, foi possível determinar os indicadores econômicos e a viabilidade econômica de todos os processos em que todos os processos foram apresentados como viáveis, porém o de melhor resultado foi o de via homogênea com destilação reativa. Em trabalhos futuros busca-se estudar as vias supercríticas e enzimáticas e analisar o processo pela ótica do estudo do ciclo de vida do processo.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESB e ao PRH27.1 (ANP e FINEP) no âmbito das bolsas de projeto nº 4428/2020 e nº 043719, respectivamente.

5. REFERÊNCIAS

- VALDEZ, Y; DINIZ, F; LEAL, C; DE SIQUEIRA, R; PELLEGRINI, F. (2021). Modelagem do efeito da composição do óleo de soja sobre as propriedades físicas do biodiesel produzido via catálise homogênea. COBEQ 23. (Aprovado).
- HUANG, K., Xu, Q.-L., ZHANG, S.-P., REN, Z.-W., & YAN, Y.-J. (2009). Multi-Step Controlled Kinetics of the Transesterification of Crude Soybean Oil with Methanol by Mg(OCH₃)₂. Chemical Engineering & Technology, 32(10), 1595–1604. <https://doi.org/10.1002/ceat.200900089>.
- VISHAL e SINGH, S. e ALI, A. Development of Heterogeneous Catalysts for Formation of Biodiesel. Thesis. School of Chemistry and Biochemistry, Thapar Institute of Engineering and Technology, 2014.
- DE SOUSA, Gileno dos Santos et al. Catálise Enzimática: uma estratégia promissora na produção de biodiesel. Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa, v. 1, n. 1, 2015.
- KEIL, F. J. (2018). Process intensification. Reviews in Chemical Engineering, 34(2), 135–200. <https://doi.org/10.1515/revce-2017-0085>
- ZHANG, Y; DUBÉ, M.A.; MCLEAN, D.D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technology, v. 89, n. 1, p. 1–16, 2003.
- A NARVÁEZ, P. C.; RINCÓN, S. M.; SÁNCHEZ, F. J. Kinetics of Palm Oil Methanolysis. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 84, n. 10, p. 971–977, 21 2007.
- FIRESTONE, D. Physical and chemical characteristics of oils, fats and waxes. Aocs Press, 2006.
- BÁRBARA, T.D. C.; EMANUELLA, R. L.; ISABELA, M. D. A.; JULIANO, D. C. N.; LUIZA, D. C.; NATÁLIA, K. T.; TIAGO, B. L. D. S.; VICTÓRIA, R. M. A.; YASMIN, M. Produção de metil-Etil-Cetona a partir da desidrogenação do Sec-Butanol. Projeto de graduação da disciplina Projetos de Engenharia Química 2 — Instituto de Química, Brasília - DF: Universidade de Brasília, ago. 2018.