



## PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA MISTURA DE ÓLEO DE SOJA E SEBO BOVINO

Bianca Capucho de Oliveira<sup>1</sup>, Domênico Andreatta<sup>1</sup>, Mariana Kuster Moro<sup>1</sup>, Rayane Minto Bimbato<sup>1</sup>, George Simonelli<sup>2</sup>

1. Discentes do curso de Engenharia Química da Faculdade de Aracruz (biacapucho@hotmail.com; domenicoandreatta@hotmail.com; marianakustermoro@gmail.com; rayane\_bimbato@hotmail.com), Aracruz – Brasil.
2. Professor do Curso de Engenharia Química da Faculdade de Aracruz (george@fsjb.edu.br), Aracruz – Brasil.

Recebido em: 06/10/2012 – Aprovado em: 15/11/2012 – Publicado em: 30/11/2012

### RESUMO

O biodiesel é um combustível considerado limpo e renovável que pode ser obtido principalmente por meio da reação de transesterificação entre um triacilglicerol e um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador. O presente trabalho tem como objetivo a otimização do processo de produção de biodiesel metílico, via catálise básica, a partir da mistura binária de óleo de soja e gordura bovina. As variáveis investigadas foram proporção matéria-prima/álcool, proporção óleo/gordura e quantidade de catalisador, empregando como metodologia o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). Com base no delineamento de experimentos, foi determinado o número de ensaios laboratoriais e através da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) foi avaliado o efeito de cada uma das variáveis estudadas. O modelo matemático encontrado se ajustou adequadamente aos resultados experimentais. Fixado o tempo de 30 minutos e temperatura de 60°C, as condições de reação que proporcionaram a região com as melhores conversões (superior a 90%) foram: concentração de catalisador de 1 a 1,7%, quantidade de álcool de 3 a 8 mols e quantidade de sebo de 10 a 70%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conversão. Transesterificação metílica. Catálise básica.

### BIODIESEL PRODUCTION FROM MIXTURE OF SOYBEAN OIL AND BOVINE SEBUM

### ABSTRACT

The biodiesel is considered a clean and renewable fuel being obtained mainly by a transesterification reaction between triacylglycerol and a short chain alcohol, in the presence of a catalyst. This work aims at optimizing the production process of methyl biodiesel using a base catalysis from the binary mixture of soybean oil and bovine sebum. The investigated variables were raw material/alcohol, ratio oil/fat oil and the amount of catalyst, as methodology we employed the central composite rotational design (DCCR). Based in the experiments outline, we determined the number of laboratory tests and by Response Surface Methodology (RSM) will be

assessed the effect of each variable studied. The mathematical model found fits well to the experimental results. Setting the time at 30 minutes and the temperature at 60 °C, the reaction conditions provided in the region with the best conversions (over 90%) were: catalyst concentration 1 up to 1.7%, amount of alcohol 3 up to 8 mols and bovine sebum amount of 10 up to 70%.

**KEYWORDS:** Conversion. Methyl transesterification. Base catalysis.

## INTRODUÇÃO

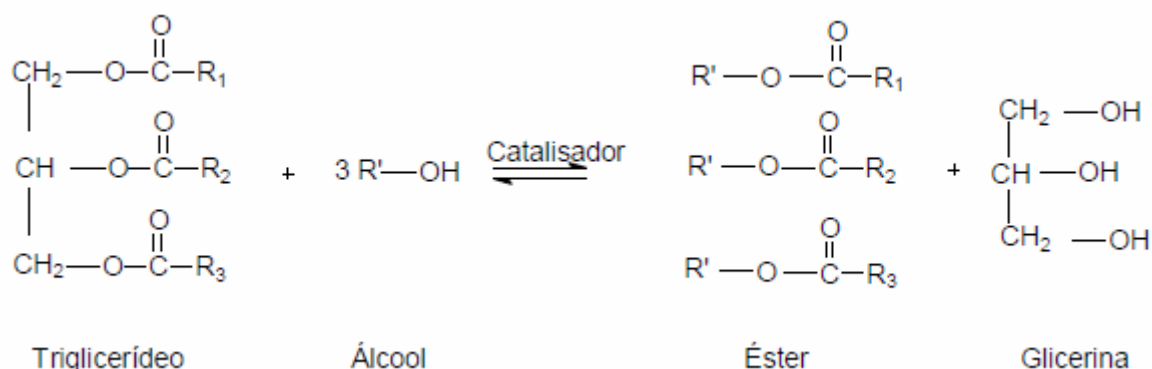
O crescente consumo de petróleo vem causando, cada vez mais, a redução das reservas deste combustível no mundo. Este é um fato preocupante, pois mais de 80% da energia do planeta advém de combustíveis fósseis (ZANETTE, 2010) e também porque o mesmo é uma fonte não renovável de energia, em virtude de levar eras geológicas para se formar (MARZULLO, 2007). Assim sendo, é importante buscar e estudar fontes alternativas de energia procurando minimizar a dependência do petróleo. Entre as fontes alternativas de energia destaca-se o biodiesel (MARZULLO, 2007; ZANETTE, 2010).

O biodiesel é um combustível limpo e renovável produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais. Segundo o Art. 4º (in ciso XXV) da Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, o biodiesel é definido como:

XXV – Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

O biodiesel é produzido por meio da transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais, uma vez que os mesmos não podem ser utilizados na sua forma “*in natura*” devido a sua alta viscosidade que acarreta problemas durante a sua combustão (QUESSADA et al, 2010). Deste modo, é necessário reduzir a sua viscosidade a fim de evitar esses problemas e melhorar o seu desempenho (DANTAS, 2010; BASHA, GOPAL, JEBARAJ, 2009).

A transesterificação consiste na reação entre um glicerídeo com um álcool, geralmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador ácido, básico ou enzimático tendo como produto final ésteres de ácidos graxos e glicerol (Figura 1) (DANTAS, 2010; FREIRE, 2009).



**FIGURA 1** – Representação esquemática da reação de transesterificação.

Fonte: ZANETTE (2010).

No Brasil, a matéria-prima mais utilizada é o óleo de soja com 74,5% de toda produção de biodiesel em Abril de 2012 (ANP, 2012). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja com uma produção de 66,68 milhões de toneladas na safra de 2011/2012, de acordo com o levantamento de Maio/2012 realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012).

Uma desvantagem desse combustível alternativo é o seu alto custo de produção (MILLI et al., 2011). O preço do biodiesel a partir de oleaginosas está concentrado no custo da matéria-prima, de forma que mais de 80% do custo de produção está associado com a matéria-prima (MARCHETTI, MIGUEL, ERRAZU, 2008), além disso, nem sempre a produção da planta atende a demanda de fabricação do biodiesel (TOMAZIN JUNIOR, 2008). Uma alternativa a estes problemas é a utilização de óleo vegetal associada à gordura animal cujo preço é inferior. O sebo bovino pode ser facilmente obtido como subproduto de indústrias alimentícias, principalmente pelo fato de que o Brasil tem um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, produzindo grande quantidade de gordura que precisa de uma destinação. Cabe salientar também, a importância do aproveitamento do sebo bovino, visto que este é produzido em grandes quantidades como subproduto de abatedouros e, muitas vezes não possuem uma destinação adequada acarretando problemas ambientais MORAES (2008).

Devido à alta viscosidade do sebo, a produção associada somente à gordura animal pode acarretar problemas na qualidade do combustível resultante. Por esse motivo, é aconselhável misturar o sebo ao óleo vegetal até atingir uma proporção que forneça um combustível que atenda as especificações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (KRAUSE, 2008).

A taxa de conversão obtida na reação de transesterificação depende das condições da reação e de vários fatores (FERRARI, OLIVEIRA, SCABIO, 2005). De acordo com BASHA, GOPAL E JEBARAJ (2009) a transesterificação sofre influência principalmente da proporção molar entre óleo e álcool, quantidade e tipo de catalisador, temperatura e tempo de reação. Todos esses fatores, se não forem bem definidos, diminuem o rendimento da reação e elevam o preço do biodiesel.

A investigação das propriedades do biodiesel produzido é importante, uma vez que a natureza da matéria-prima utilizada para sua produção influencia diretamente nas suas características (CUNHA, 2008). Além disso, existem diversas formas de produção de biodiesel, submetidas a diferentes condições de reação que acarretam em combustíveis com propriedades distintas. Sendo assim, se faz necessário estabelecer padrões de qualidade para garantir o bom desempenho do combustível, assegurar o direito do consumidor e preservar o meio ambiente (DANTAS, 2010; CASTRO, 2009).

Para conferir maior confiabilidade ao biodiesel produzido, a ANP regulamenta através da Resolução ANP nº 7 de 19.3.2008 – DOU 20/3/2008 as especificações e parâmetros para o biodiesel puro, conhecido como B100.

Diante desse contexto, vários estudos sobre biodiesel estão sendo conduzidos com o objetivo de avaliar a qualidade dos biocombustíveis originados sob diferentes condições e matérias-primas diversas, como no caso das misturas binárias.

Uma forma de conduzir esses estudos buscando alcançar melhorias é empregar como metodologia o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) e a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR).

Estudar o efeito de uma variável fixando as demais limita a determinação da condição otimizada, pois elas podem interagir entre si e o valor ideal de uma pode depender do valor da outra. Utilizando o DCCR é possível avaliar o efeito de uma

variável sobre outra, o que possibilita que resultados mais confiáveis sejam atingidos. Além disso, é possível identificar os fatores que mais influenciam no processo de produção (RODRIGUES, IEMMA, 2005).

Quanto à MSR, a mesma possui uma série de vantagens, e uma delas, é a possibilidade de avaliar a robustez do processo. A robustez é a informação do quanto é possível variar cada parâmetro do processo, sem sair da faixa de otimização, o que é muito importante na etapa de controle (RODRIGUES, IEMMA, 2005).

A principal justificativa deste estudo se baseia na ausência de informações a respeito de biodiesel produzido a partir da mistura de óleo de soja e sebo bovino, empregando uma metodologia estatística que permita informar a robustez do processo e avaliar as possíveis interações entre as variáveis.

Este trabalho visa determinar as proporções de óleo vegetal/gordura animal e as condições físicas da reação que permitam gerar as maiores conversões.

## METODOLOGIA

Para a obtenção do biodiesel foi pesado 400 g de uma mistura de óleo de soja e gordura bovina. O becker com meio reacional foi aquecido em um banho termostático a uma temperatura de 60°C, sob agitação constante. Foi adicionada uma mistura de álcool metílico anidro e hidróxido de potássio (KOH) dando início à reação com temperatura e agitação mantidas constantes. O tempo de reação foi de 30 minutos, baseado em CUNHA (2008) que assegura que este tempo é suficiente para o processamento total da transesterificação. A temperatura da reação foi fixada em 60°C, fundamentada em LEUNG D., WU e LEUNG M. (2009) que alegam que o valor ótimo de temperatura geralmente varia entre 50 e 60°C.

Com o término da reação, a mistura foi deixada em repouso num período de 24 h para separação das fases, uma mais densa, rica em glicerina e a outra rica em biodiesel. O biodiesel, ainda com vestígios de glicerina e impurezas, após a decantação e a retirada da glicerina, foi lavado 3 vezes com água destilada a 90°C para retirada de sabões, catalisadores e álcool não reagido. Após um período de 2 horas de decantação, a água foi retirada do fundo do funil depois de cada lavagem.

Com o processo de lavagem concluído, o biodiesel foi seco em estufa a uma temperatura de 105°C por um período de 2 horas para que toda água restante fosse evaporada. Posteriormente, o biodiesel foi pesado e em seguida, submetido às análises.

Foi adotado nesse trabalho o planejamento estatístico do DCCR para a avaliação mais precisa da influência das variáveis na conversão, e os resultados foram avaliados através da aplicação da MSR. O planejamento experimental foi escolhido para as três variáveis independentes: proporção molar matéria-prima:álcool, proporção molar óleo de soja:sebo bovino e percentual de catalisador em relação a massa de matéria-prima. Para a realização dos experimentos foram utilizados os parâmetros com seus limites de variação mínimo e máximo. Seguem na Tabela 1 os valores das variáveis independentes.

**TABELA 1 – VALORES DOS FATORES UTILIZADOS NO DCCR**

Variáveis	Código	-1,68	-1	0	1	1,68
% Sebo	x <sub>1</sub>	10	22,14	40	57,85	70
% Catalisador	x <sub>2</sub>	1	1,2	1,5	1,79	2
Álcool (mol)	x <sub>3</sub>	3	4,21	6	7,78	9

Nota: % de sebo e de catalisador em relação à massa de matéria-prima e quantidade molar de álcool para 1 mol de matéria-prima.

A escolha das proporções de sebo foi baseada no trabalho de CUNHA (2008) que encontrou 40% de sebo como a proporção que forneceu o combustível de melhor qualidade. A escolha das quantidades de catalisador foi fundamentada no trabalho de LEUNG D., WU, LEUNG M. (2009) que afirmam que quando o catalisador é básico é suficiente uma quantidade de 1,5% em peso em relação à massa de matéria-prima. As quantidades de álcool foram definidas de acordo com os resultados de DANTAS (2010) que recomenda uma relação de 6:1 quando o álcool for metanol.

Foram realizados 8 ensaios fatoriais, mais 6 ensaios axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 17 experimentos (Tabela 2). A influência dos fatores foi avaliada utilizando o programa de uso livre *Action*, versão 2.4 (ESTATCAMP, 2012).

**TABELA 2 – VARIÁVEIS E VALORES UTILIZADOS NO DCCR**

Ensaio	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>
1	22,14	1,2	4,21
2	57,85	1,2	4,21
3	22,14	1,79	4,21
4	57,85	1,79	4,21
5	22,14	1,2	7,78
6	57,85	1,2	7,78
7	22,14	1,79	7,78
8	57,85	1,79	7,78
9	10	1,5	6
10	70	1,5	6
11	40	1	6
12	40	2	6
13	40	1,5	3
14	40	1,5	9
15	40	1,5	6
16	40	1,5	6
17	40	1,5	6

Nota: % de sebo e de catalisador em relação à massa de matéria-prima e quantidade de álcool em mol.

Para a avaliação dos resultados foi utilizada a MSR que possibilita selecionar a combinação de níveis ótimos para a resposta de interesse (BARROS NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2007).

## RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos baseados no planejamento experimental adotado.

**TABELA 3 – VALORES CODIFICADOS ( $x_1$ ,  $x_2$  E  $x_3$ ) E REAIS ( $X_1$ ,  $X_2$  E  $X_3$ ) PARA AS VARIÁVEIS ESTUDADAS NO PLANEJAMENTO FATORIAL E A RESPOSTA CONVERSÃO (Y)**

Ensaio	Variáveis independentes						Variável dependente Y (%)
	Variáveis codificadas			Variáveis reais			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1$ (%)	$X_2$ (%)	$X_3$ (mol)	
1	-1	-1	-1	22,14	1,2	4,21	94,11
2	1	-1	-1	57,85	1,2	4,21	93,2
3	-1	1	-1	22,14	1,79	4,21	89,68
4	1	1	-1	57,85	1,79	4,21	89,76
5	-1	-1	1	22,14	1,2	7,78	90,55
6	1	-1	1	57,85	1,2	7,78	90,15
7	-1	1	1	22,14	1,79	7,78	86,75
8	1	1	1	57,85	1,79	7,78	87,57
9	-1,68	0	0	10	1,5	6	94,14
10	1,68	0	0	70	1,5	6	93,02
11	0	-1,68	0	40	1	6	93,87
12	0	1,68	0	40	2	6	87,22
13	0	0	-1,68	40	1,5	3	92,54
14	0	0	1,68	40	1,5	9	82,69
15	0	0	0	40	1,5	6	89,77
16	0	0	0	40	1,5	6	90,45
17	0	0	0	40	1,5	6	90,77

Na Tabela 4, gerada pelo software ACTION (versão 2.4), estão apresentados os coeficientes das variáveis analisadas e seus respectivos efeitos principais e de interação que são considerados significativos em um intervalo de confiança de 95%. Os termos lineares estão associados com a letra L e os termos quadráticos com a letra Q, sendo os demais, as interações entre os fatores.

**TABELA 4 – ESTIMATIVA DOS EFEITOS E COEFICIENTES DE REGRESSÃO PARA A CONVERSÃO EM UM INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95%**

Preditor	Coeficientes			
	Coeficiente de Regressão	Desvio Padrão	Estat. T	P-valor
Intercepto	90,35496576	0,684379812	132,0245924	1,27345E-11
$x_1$ (L)	-0,167946764	0,321578566	-0,522257331	0,620204004
$x_2$ (L)	-1,863127345	0,321578566	-5,793692557	0,001157979
$x_3$ (L)	-2,072437852	0,321578566	-6,444577065	0,000660759
$x_1$ (Q)	1,067947401	0,354275874	3,014451392	0,023564934
$x_2$ (Q)	-0,007378563	0,354275874	-0,020827166	0,984058866
$x_3$ (Q)	-1,045502145	0,354275874	-2,951096088	0,025576562
$x_1$ : $x_2$	0,27625	0,419977175	0,657773842	0,535089412
$x_1$ : $x_3$	0,15625	0,419977175	0,372044028	0,722646269
$x_2$ : $x_3$	0,18625	0,419977175	0,443476482	0,672964996
$x_1$ : $x_2$ : $x_3$	0,02875	0,419977175	0,068456101	0,947646911

Através dos resultados da Tabela 4 foi possível avaliar um modelo matemático  
**ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. **2314** 2012

para o cálculo da conversão. No entanto, para fins práticos, é desejável que o modelo ajustado seja o mais simples possível, ou seja, que ele tenha o menor número de parâmetros sem perder a qualidade. Sendo assim, com o intuito de simplificar o modelo, foram excluídos os parâmetros com pequena ou nenhuma influência sobre o resultado do ajuste final (p-valor > 0,05), e os cálculos estatísticos foram refeitos com base apenas nos fatores significativos (Tabela 5). Com isso, obteve-se um modelo com um menor número de parâmetros, denominado modelo reparametrizado ou modelo reduzido.

Pela análise da Tabela 4 é possível verificar que apenas os termos lineares da concentração de catalisador e da quantidade de álcool, e os termos quadráticos da concentração de sebo e da quantidade de álcool, influenciam significativamente na conversão, considerando o intervalo de confiança de 95%.

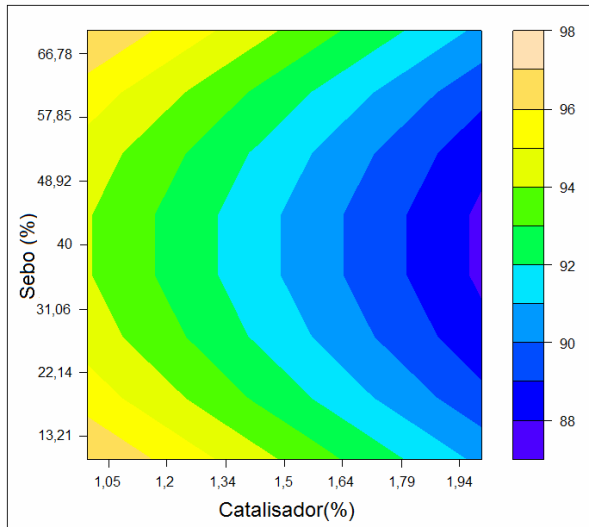
**TABELA 5 - ESTIMATIVA DOS EFEITOS E COEFICIENTES DE REGRESSÃO PARA A CONVERSÃO COM BASE NOS FATORES SIGNIFICATIVOS**

Coeficientes				
Preditor	Estimativa	Desvio Padrão	Estat. T	P-valor
<b>Intercepto</b>	90,34555705	0,393925698	229,3466953	3,17642E-23
<b>X<sub>2</sub>(L)</b>	-1,863127345	0,246408852	-7,561121825	6,66701E-06
<b>X<sub>3</sub>(L)</b>	-2,072437852	0,246408852	-8,410565768	2,24427E-06
<b>X<sub>1</sub>(Q)</b>	1,07011926	0,259436885	4,124776868	0,001408584
<b>X<sub>3</sub>(Q)</b>	-1,043330286	0,259436885	-4,021518714	0,001694828

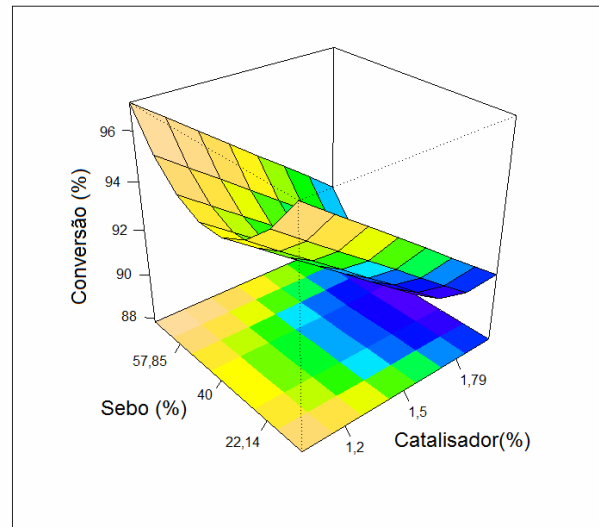
Como a porcentagem de variação explicada (R<sup>2</sup>) pelo modelo foi elevada, cerca de 93,43%, conclui-se que o modelo reduzido se ajusta bem aos dados experimentais. A equação 1 descreve a conversão prevista pelo modelo reparametrizado em função das variáveis codificadas, considerando-se apenas os termos estatisticamente significativos.

$$\text{Conversão} = 90,34 - 1,83x_2 - 2,07x_3 + 1,07x_1^2 - 1,04x_3^2 \quad \text{Equação 1}$$

Para compreender as relações entre os fatores e a resposta, utiliza-se a MSR que permite visualizar o comportamento de cada variável independente na resposta conversão. Através das superfícies de resposta geradas pelo modelo reduzido, é possível observar as condições de reação que resultam em um maior valor de conversão. A seguir, as Figuras 2, 3 e 4 ilustram as superfícies de resposta e os gráficos de contorno (curvas de níveis) para a conversão.



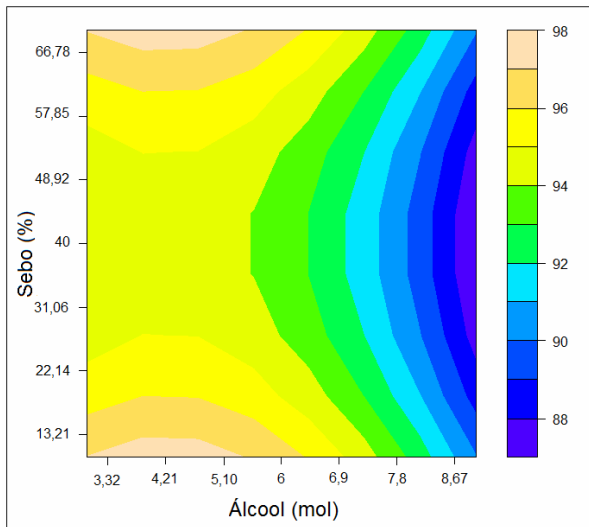
(a)



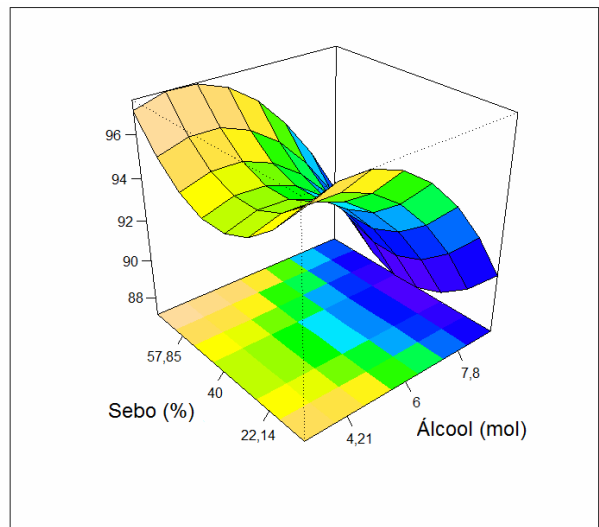
(b)

**FIGURA 2** – Curvas de contorno (a) e superfícies de resposta (b) para conversão (%) em função da concentração de sebo e de catalisador.

Fonte: Resultado da pesquisa.



(a)

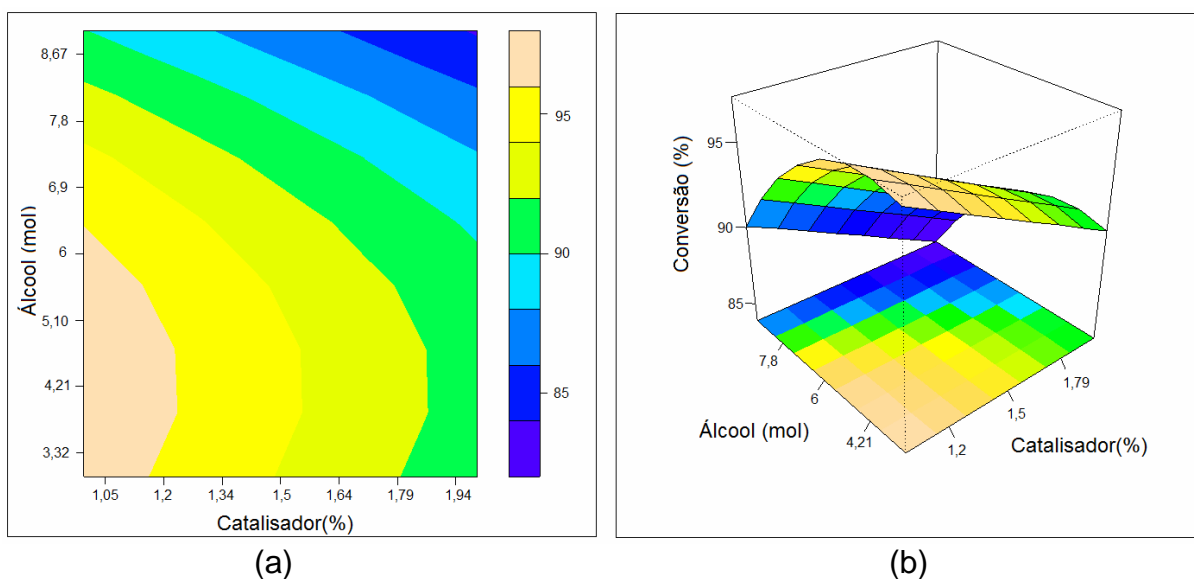


(b)

**FIGURA 3** – Curvas de contorno (a) e superfícies de resposta (b) para conversão (%) em função da quantidade de álcool e concentração de sebo.

Fonte: Resultado da pesquisa.





**FIGURA 4** – Curvas de contorno (a) e superfícies de resposta (b) para conversão (%) em função da concentração de catalisador e quantidade de álcool.  
 Fonte: Resultado da pesquisa.

Nos gráficos (a) e (b) da Figura 2 foram fixados os valores de álcool (mol) variando a relação sebo/matéria-prima e catalisador/matéria-prima, sendo observado que uma redução da porcentagem de catalisador leva a um aumento na conversão da reação. SANTOS (2007) afirma que a quantidade de catalisador geralmente utilizada oscila entre 0,5% e 1% (w/w) e o excesso de catalisador básico diminui o rendimento devido à formação de sabão (ZANETTE, 2010).

Observa-se também, nesse caso, que a quantidade de sebo presente na matéria-prima influenciou na variável resposta, de forma que as maiores conversões foram alcançadas para a quantidade mínima e máxima de sebo, e a menor para a quantidade mediana de 40%.

A quantidade de sebo presente na matéria-prima não influenciou na resposta de forma expressiva quando comparada as demais variáveis, o que indica que o sebo bovino utilizado não apresentou propriedades que prejudicassem a reação como, por exemplo, elevado índice de acidez. Um alto índice de acidez ocasiona a formação de sabões e conseqüente redução da conversão, sendo que o mesmo não ocorre caso a matéria-prima utilizada tenha boa qualidade (MORAES, 2008).

Com a porcentagem de catalisador fixa nos gráficos (a) e (b) da Figura 3, verificou-se que a conversão aumentou com a redução da quantidade de álcool de 9 para 6 mols. Esse comportamento foi mantido até atingir um limite máximo de conversão, de aproximadamente 96%, quando foi utilizado cerca de 4 a 6 mols de álcool.

Continuando a redução da quantidade de álcool de 4 a 3 mols, verifica-se uma tendência à diminuição da conversão. Além disso, observa-se novamente que a quantidade de sebo influenciou na resposta da mesma forma como mostrado nos gráficos (a) e (b) da Figura 2. DANTAS (2010) observou que as melhores conversões são alcançadas utilizando um excesso de 6:1, quando o álcool for metanol. Porém, segundo BALAT M., BALAT H. (2010) para uma relação muito alta, o excesso de álcool inverte o equilíbrio da reação minimizando seu rendimento.

Fixada a porcentagem de sebo, as superfícies de resposta dos gráficos (a) e (b)

da Figura 4 indicaram que os valores mínimos de catalisador utilizados com até 6 mols de álcool forneceram as melhores conversões.

A partir das análises de superfície de resposta, foi possível determinar as condições de processo que simultaneamente levam à região com as maiores conversões, dentro do intervalo de estudo pré-estabelecido. Considerando a região como superior a 90% de conversão, as condições de processo foram as seguintes: concentração de catalisador de 1 a 1,7%; quantidade de álcool de 3 a 8 mols e quantidade de sebo de 10 a 70%.

## CONCLUSÕES

Foi possível determinar a região que proporcionou as maiores conversões para o processo, bem como a robustez do mesmo. Verificou-se que as menores quantidades de catalisador proporcionaram as maiores conversões, entretanto não foi possível mensurar o limite mínimo de catalisador em que esse comportamento fosse mantido. Deste modo, sugere-se que seja avaliada a conversão utilizando uma faixa de valores de catalisador com o limite inferior menor do que o utilizado no presente trabalho.

Além disso, foi demonstrado que a proporção de sebo bovino em relação à quantidade de matéria-prima total não afetou significativamente a conversão, mostrando que o sebo não apresentou propriedades indesejáveis que prejudicassem de maneira drástica a reação, como elevado índice de acidez.

Apesar de não ter sido dado enfoque à qualidade do biodiesel, as propriedades índice de acidez, densidade a 20°C e viscosidade a 40°C das amostras produzidas foram mesuradas e encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela ANP.

## REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acessado em: 19 mai. 2012.

BALAT, M.; BALAT, H. **Progress in biodiesel processing**, Applied Energy, v.87, p.1815-1835, 2010.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. v. 3, Campinas: Editora da Unicamp, 2007. 480 p.

BASHA, S.A.; GOPAL, K.R.; JEBARAJ, S. **A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.13, p.1628-1634, 2009.

BRASIL, Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. **Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 13 jan. 2005.

CASTRO, B. C. S. **Otimização das condições da reação de transesterificação e caracterização dos rejeitos dos óleos de fritura e de peixe para obtenção do**

**biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. Sexto levantamento, 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>.

CUNHA, M. E. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DANTAS, M. B. **Blendas de Biodiesel: propriedades de fluxo, estabilidade térmica e oxidativa e monitoramento durante armazenamento**. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

ESTATCAMP. **Action**. Versão 2.4. Licença Pública geral. São Carlos: Estatcamp. Disponível em: < <http://www.portalaction.com.br/content/download-action>>. Acesso em: 15 set. 2012.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. da S.; SCABIO, A. **Biodiesel de soja - Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia**. Química nova, São Paulo, v. 28, n. 1, jan./fev., 2005.

FREIRE, L. M. S. **Otimização da síntese etanólica do biodiesel de pinhão manso (Jatropha curcas L.) e determinação de seus parâmetros fluidodinâmicos**. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade da Paraíba, João Pessoa, 2009.

KRAUSE, L. C. **Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal**. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LEUNG, Dennis Y. C.; WU, Xuan; LEUNG, M. K. H. **A review on biodiesel production using catalyzed transesterification**. Applied Energy, Hong Kong, v. 87, n. 4, p. 1083-1095, out./nov, 2009.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. **Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production**. Fuel Processing Technology. v.89, p.740-748, 2008.

MARZULLO, R. M. **Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MILLI, B. B. et al. **Produção de biodiesel a partir da mistura de sebo bovino com óleo vegetal**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.12, p.1-26, 2011.

MORAES, M. S. A. **Biodiesel de sebo: avaliação de propriedades e testes de consumo em motor a diesel.** Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

QUESSADA, T. P. et al. **Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.6, n.11, 2010.

RODRIGUES, M. I; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos.** Casa do Pão Editora, 325p., 2005.

SANTOS, A. G. **Catalisadores heterogêneos para produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

TOMAZIN JUNIOR, C. **Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ZANETTE, A. F. **Estudo da transesterificação do óleo de pinhão manso empregando catalisadores heterogêneos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campos de Toledo, Toledo, 2010.