

CAPÍTULO 2

Viabilidade técnica-econômica de tecnologias convencionais de produção de biodiesel a partir de matrizes lipídicas residuais de origem animal e sua utilização em sistemas de aquecimento para aves e suínos

Paulo Giovanni de Abreu

Anildo Cunha Júnior

Marina Celant De Prá

Martha Mayumi Higarashi

Arlei Coldebella

Valéria Maria Nascimento Abreu

Jonas Irineu dos Santos Filho

Dirceu Zanotto

Airton Kunz

Introdução

No século XX, o mundo modificou, radicalmente, a sua matriz energética, passando a depender de combustíveis fósseis que representam 80% da oferta de energia (BALANÇO, 2004). O Brasil consome 35 milhões de t/ano de diesel (BALANÇO, 2004). A queima destes combustíveis desequilibra a composição de gases da atmosfera, fazendo com que seja intensificado o efeito estufa, aumentando a temperatura da Terra. Lideranças mundiais, tanto políticas como científicas, buscam fórmulas para desfazer as previsões elaboradas a partir da continuidade do consumo de combustíveis fósseis. Devido à possibilidade de esgotamento dessas reservas energéticas, ao aumento na demanda por energia e aos crescentes problemas ambientais relacionados ao uso contínuo de combustíveis fósseis, observa-se nas últimas décadas uma forte tendência pela busca de fontes alternativas renováveis e com menores impactos ao meio ambiente. Neste contexto, os biocombustíveis despontam como uma alternativa promissora, pois podem ser tecnicamente viáveis, economicamente competitivos, aceitáveis do ponto de vista ambiental e produzidos a partir da biomassa e de resíduos agropecuários e agroindustriais. No entanto, devem ter disponibilidade de insumos e capacidade de processamento para atender a obrigatoriedade de consumo e a existência de condições para que a demanda suplante as metas estabelecidas pela Lei nº 11.097/2005. Dessa forma, a Política Nacional de Biocombustível objetiva garantir o suprimento interno de biocombustível tendo um modelo tributário específico para estimular o seu uso de forma a expandir a produção para atender o crescimento da demanda interna e externa de etanol e biodiesel.

O modelo de produção do biodiesel está essencialmente fundamentado na utilização dos óleos vegetais refinados como materiais de partida (SCHUCHARDT et al., 1998; MEHER et al., 2006; SHARMA et al., 2008). O óleo de soja é atualmente a principal fonte de lipídios utilizados pela indústria de biodiesel no Brasil, representando cerca de 80% do volume global de matérias-primas (SWISHER, 2009). No entanto, existe uma controvérsia sobre o uso de óleos vegetais comestíveis

para fins não alimentares, considerando a sua atual relação de preços elevados e a eficiência energética na produção de grão. Além disso, o aumento da demanda de biodiesel prevista para as próximas décadas pode levar à escassez de alimentos (GÜRÜ, 2010). A fim de superar barreiras econômicas e o desafio energético, bem como minimizar a competição entre os segmentos de alimentos e combustíveis pela mesma matéria-prima, os resíduos de gordura animal surgem com um enorme potencial como material de partida para obtenção do referido combustível.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de bovinos, o terceiro maior produtor de frangos e o quarto maior produtor de suínos (FAO, 2010). O abate e processamento destes animais dentro dos abatedouros e frigoríficos é uma interessante fonte de insumo para o biodiesel principalmente pela produção de um grande volume de gorduras que, por problemas de processamento e conservação, apresenta pouco ou nenhum valor comercial (VIANA et al, 2008). No caso da avicultura e suinocultura o grande destaque é a produção de gorduras ácidas originada dos efluentes dos flotados.

Os resíduos de abatedouros têm sido utilizados para a produção de ingredientes para rações de animais. Porém, com o surgimento de enfermidades como a *Encefalopatia Espongiforme*, ou "vaca louca", tem determinado restrições à utilização desses subprodutos na alimentação animal. Deve-se ressaltar que o problema não está relacionado com a utilização e sim com a qualidade do produto. Esta situação representa para a indústria uma questão a ser estudada: como reciclar e aproveitar os subprodutos de maneira segura e economicamente rentável.

Os procedimentos do abate animal e industrialização da carne gera um grande volume de efluentes. O efluente é constituído por água de processamento que carrega sangue e aparas de gorduras, carnes, ossos e vísceras. Previamente ao lançamento no meio ambiente, preconiza-se que os efluentes sejam tratados para reduzir a sua carga poluente até níveis aceitáveis pela legislação ambiental vigente. Com o processo de

tratamento aeróbico em tanques, e subsequente tratamento com agentes coagulantes, é possível a separação da fração orgânica do efluente na forma flotada (lodo). Sendo constituído principalmente por proteínas e lipídios, o lodo é convencionalmente destinado ao descarte ou a aterros sanitários. Alternativamente, através de tratamento térmico complementar, com extração parcial da água e da gordura, o lodo pode ser transformado em um composto orgânico (Flotado Industrial (FI)), contendo 35% de matéria seca e valor nutricional considerável (SANTOS FILHO et al., 2010). A gordura ácida e as gorduras provenientes de flotados apresentam baixo ou nenhum valor comercial e portanto não agregam valor à cadeia. Segundo Santos Filho et al. (2010), existe um grande potencial para uso destas gorduras na fabricação de biodiesel, entretanto, torna-se necessário conhecer a real capacidade de oferta deste insumo visando inseri-lo nas estratégias governamentais e empresariais para a produção de biodiesel.

Em 2009, no Brasil, foram abatidos com alguma forma de inspeção 4.773.641.106 de cabeças de frangos e 30.932.830 de cabeças de suínos. Com base nesses dados, o potencial de produção total de gordura ácida e gordura ácida do flotado é de 34.101.453,14 e 68.891.824,52 litros, respectivamente. Para o Estado de Santa Catarina, o potencial de produção de gordura dos flotados, gordura ácida e gordura total dos efluentes no ano de 2009 corresponde a 6.723, 13.583 e 20.306 mil litros, respectivamente (SANTOS FILHO et al., 2010).

Sabe-se que a viabilidade econômica do biodiesel depende da disponibilidade de matérias-primas de baixo custo (HUANG; CHANG, 2010). Atualmente, a reciclagem de resíduos agroindustriais vem ganhando espaço cada vez maior, não apenas porque os resíduos representam matérias-primas de baixo custo, mas, principalmente, porque os efeitos da degradação ambiental decorrente de atividades industriais estão atingindo níveis cada vez mais alarmantes. Embora grande parte destas matérias-primas seja destinada ao setor farmacêutico de cosméticos e à fabricação de rações, futuramente, face à necessidade crescente por

energia, o uso para obtenção de biocombustíveis poderá ser priorizado. Isto leva a crer que para tornar o biodiesel de gorduras animais uma realidade tecnológica competitiva, pesquisas de caráter adaptativo ainda são necessárias.

Objetivos

Utilizar resíduos de gorduras animais de abatedouros para produção de biodiesel, convertendo um resíduo poluente em um produto de valor comercial que poderá ser utilizado no aquecimento de aves e suínos, contribuindo para a sustentabilidade da respectiva cadeia produtiva.

Objetivos específicos

- Determinar as propriedades e composição dos resíduos de gorduras animais (gordura mista de aves e suínos e gordura ácida flotada).
- Otimizar as condições da reação de transesterificação alcalina de resíduos de gorduras animais (tempo reacional, temperatura, agitação, razão molar, quantidade de catalizador) para cada material de partida.
- Acompanhar o curso da reação de transesterificação dos resíduos gordurosos através de métodos cromatográficos de análise (CCD e CG-FID), visando a obtenção da mistura ideal de ésteres etílicos de ácidos graxos para aplicação como biocombustível.
- Aplicar as melhores condições reacionais em um reator em escala piloto para produção de biodiesel a partir das amostras de gordura mista de aves e suínos e gordura ácida flotada.
- Caracterizar as amostras de biodiesel etílico produzidas quanto a parâmetros físico-químicos exigidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Resultados e discussão

As gorduras animais selecionadas apresentaram valores de índice de acidez (IA) superiores a 2%, fator que influencia negativamente o processamento da transesterificação por consumir o catalisador alcalino e

levar à formação de sabões durante o processo convencional com bases. Para contornar essa condição desfavorável, as amostras foram previamente tratadas com solução diluída de Na_2CO_3 1 mol/L para remoção dos ácidos graxos livres (AGL) presentes. Após a lavagem (considerado um procedimento relativamente simples), satisfatoriamente os materiais de partida apresentaram IA inferior a 0,1%. A ausência de AGLs pode ser confirmada pela análise por CCD, conforme ilustra a Figura 1.

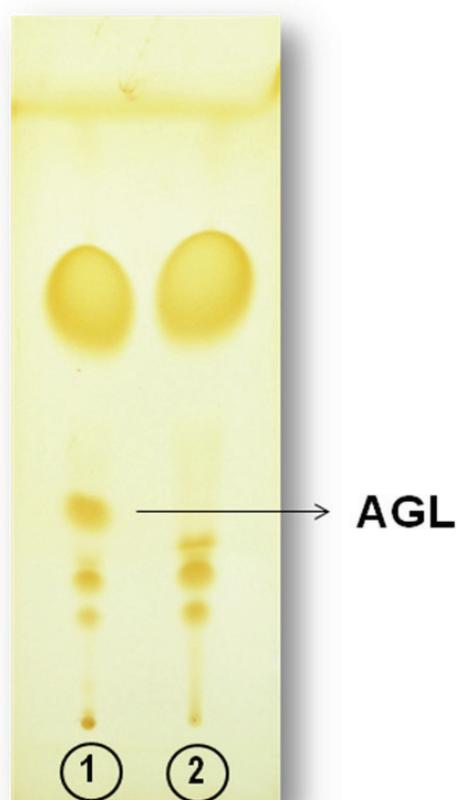


Figura 1. Cromatoplaça da Gordura Animal (1) pré-tratamento (2) pós-tratamento

As amostras dos resíduos de gordura animal foram analisadas por Cromatografia em Fase Gasosa (CG/DIC). Devido à natureza dos materiais de partida, as amostras apresentaram composições semelhantes, tendo como constituintes majoritários os ácidos graxos descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Composição em ácidos graxos dos resíduos de gordura animal

Ácidos graxos (Identificados)	Resultado (%)	
	GMAS*	RGAF**
Merístico (C14:0)	0,98	1,03
Palmítico (C16:0)	20,19	20,19
Plamitoleico (C16:1)	2,82	2,64
Esteárico (C18:0)	7,52	7,16
Oleico (C18:1)	39,42	38,51
Linoleico (C18:2)	21,08	21,60
Linoleico (C18:3)	2,03	2,02

*Gordura mista de aves e suínos.

**Resíduo de gordura ácida flotada.

De forma conhecida, a reação de transesterificação (RT) de óleos e gorduras pode ser afetada por diferentes fatores, tais como razão molar álcool/gordura, tipo de catalisador, impurezas nos materiais de partida (ácidos graxos livres e umidade), pureza dos reagentes, temperatura e agitação (SCHUCHARDT et al., 1998; MEHER et al., 2006; SHARMA et al., 2008). Partindo dessas informações, a transferência de massa, cinética e equilíbrio químico desses parâmetros são fatores que, quando controlados, podem levar a máxima conversão dos resíduos gordurosos em biodiesel. Surpreendentemente, com base nos experimentos por CCD, para os dois tipos de gordura animal (IA < 0,1% em ácido oléico), a reação de transesterificação com etanol ocorreu quantitativamente em 30 minutos, a 30°C, com razão molar álcool/gordura em 7:1 e utilizando 1% (m/m) de hidróxido de potássio (KOH) como catalisador (Figura 2).

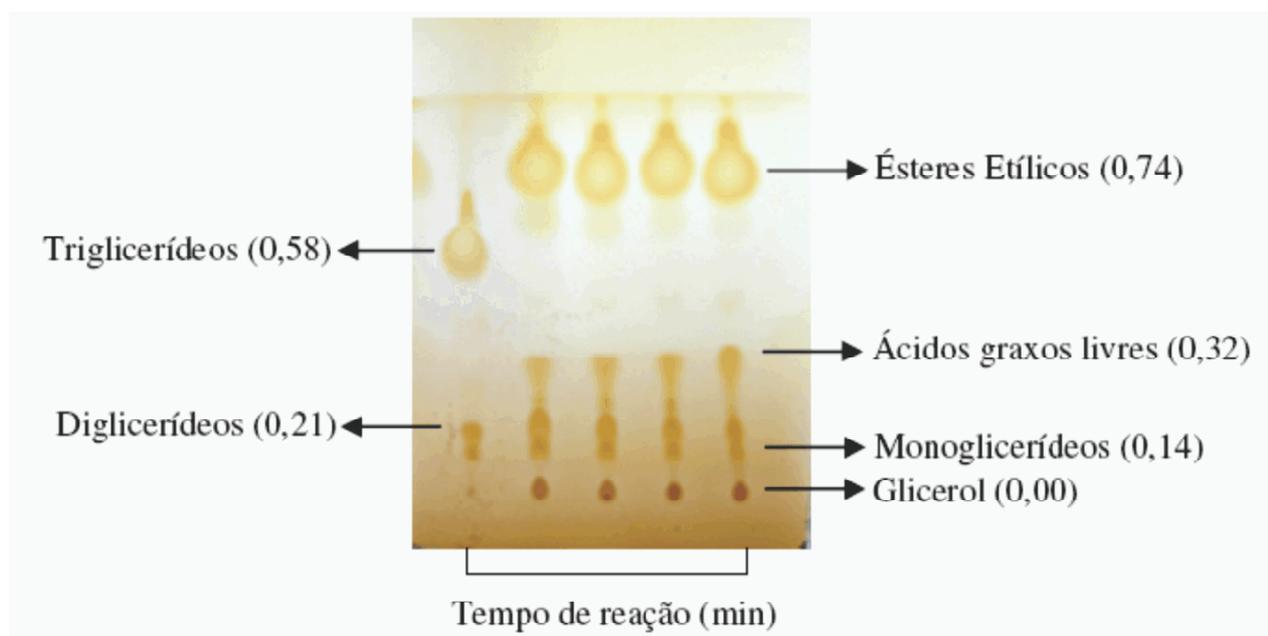


Figura 2. Acompanhamento da reação de transesterificação por CCD e seus respectivos valores do índice de retenção (Rf) para cada componente da mistura reacional

Como observado na Tabela 2, os índices de retenção (Rfs) dos componentes presentes são bastante próximos, independente do tipo de gordura animal utilizada. Os valores para os diversos compostos estão dentro da mesma faixa, muito semelhantes aos obtidos por outros autores quando usaram óleos vegetais (FERRARI, et al., 2005; FROEHNER, et al., 2007), confirmando assim, a conversão dos ácidos graxos em ésteres etílicos de ácidos graxos (EEAG).

Tabela 2. Valores de Rfs das amostras de biodiesel obtido a partir de gorduras animais

Compostos	Rfs			
	Graxa Mista	Graxa Flotado	Óleo usado ¹	Óleo usado ²
Triglicerídeos	0,58	0,58	0,53	0,54
Ácidos Graxos	0,32	0,31	0,40	0,44
Ésteres de Ácidos Graxos	0,73	0,75	0,82	0,71

¹Froehner et al. (2007).

²Ferrari et al. (2005).

Com relação à temperatura, geralmente, essas reações com óleos e gorduras são realizadas à temperatura próxima ao ponto de ebulição do álcool empregado para acelerar o processo. Contudo, durante a catálise básica, é possível que temperaturas superiores a 60°C tendam a induzir a saponificação dos glicérides e, conseqüentemente, evitem a completa alcoólise. Na prática, este fato se confirmou, observando-se que o aumento da temperatura favoreceu a formação de AGLs (Figura 3), levando a conversões menos eficientes. Mesmo a 30°C, temperatura usada como referência, após o consumo total da gordura, a ocorrência de AGL é evidente.

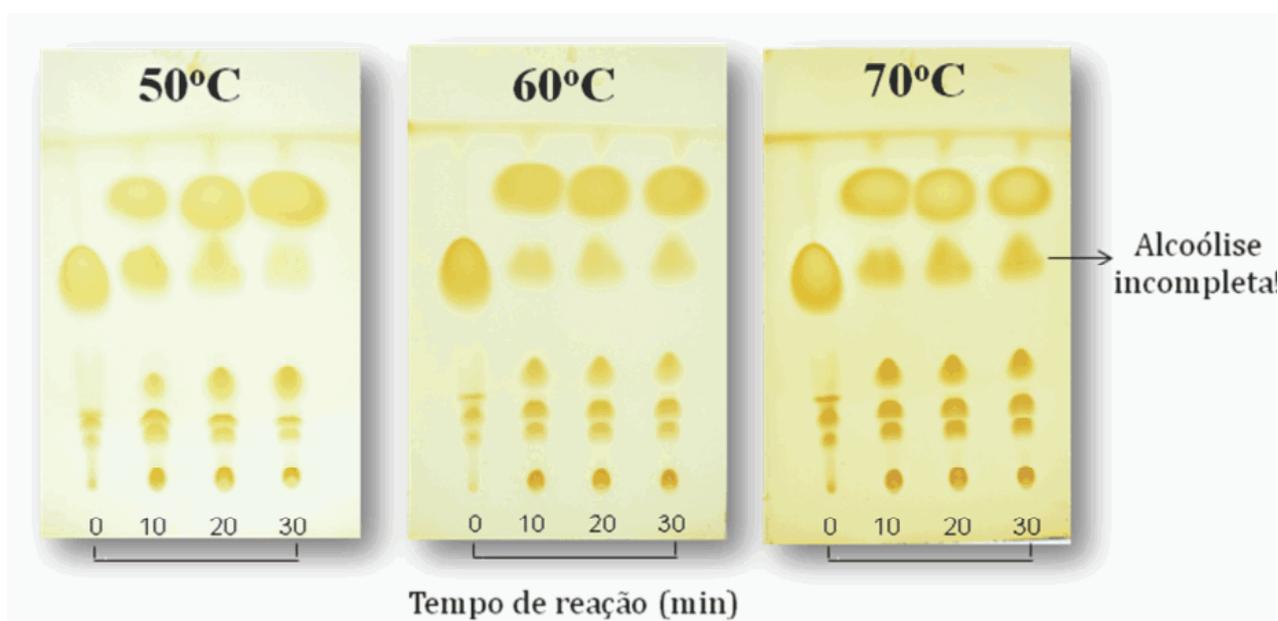


Figura 3. Influência da temperatura na conversão dos resíduos gordurosos

O mesmo efeito negativo foi observado quando o nível do catalisador foi aumentado. Assim sendo, as condições mais brandas são indicadas para aplicação na produção do biocombustível por favorecerem o curso da reação de transesterificação quando comparadas as demais. Mais do que encontrar as condições para o processo da reação, é importante considerar o isolamento do biodiesel, que tem como etapa principal a formação espontânea de fases (glicerol e ésteres) ao final do processo. Sabe-se que a separação do glicerol é dificultada pelo uso do álcool etílico e pelas concentrações de AGL e álcool na mistura final. Em conjunto, experimentalmente, esses fatores podem levar à formação

de uma emulsão estável de difícil separação. De maneira positiva, nas condições preferidas para transesterificação das gorduras em estudo (KOH 1% (m/m), 30°C, razão molar etanol/gordura 7:1, 30 minutos), as quais tendem a desfavorecer a saponificação como reação paralela, a separação do glicerol e dos ésteres etílicos na mistura reacional foi nítida após repouso de aproximadamente 30 minutos. Desta forma, o biodiesel pôde ser prontamente obtido para purificação posterior, sem ser submetido a processos de evaporação para remoção do excesso de álcool, os quais são acompanhados por aquecimento.

Experimentalmente, os estudos cinéticos de reações químicas envolvem a determinação das concentrações dos reagentes ou dos produtos ao longo do tempo. No caso da transesterificação de óleos e gorduras, geralmente monitora-se a formação dos respectivos ésteres produzidos. Neste estudo, o desenvolvimento das reações realizadas foi satisfatoriamente acompanhada por CG/DIC, observando-se o aumento da área total dos picos relacionados aos ésteres etílicos majoritários (Figura 4).

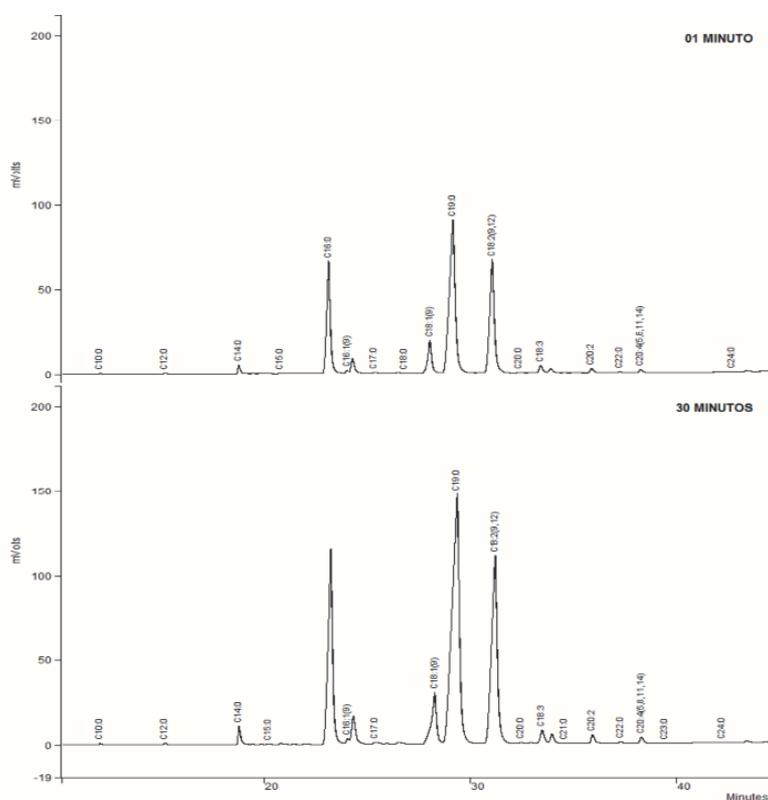


Figura 4. Cromatogramas representativos das alíquotas coletadas no 1º e 30º minuto da reação

Similar aos resultados obtidos no estudo por CCD, o melhor desempenho reacional quantitativo ocorreu a 30°C, em 30 minutos, com razão molar álcool/gordura em 7:1 (m/m) sob ação catalítica de KOH a 1% (m/m). Observou-se também que a produção de biodiesel etílico a partir da transesterificação das gorduras animais, conforme ilustra a Figura 5, é fortemente influenciada pela quantidade do catalisador. A presença de KOH a 1% (m/m), como já citado, apresentou o melhor desempenho a 30°C, chegando a cerca de 80% de conversão após 30 minutos de reação. O mesmo recurso foi utilizado para visualizar o melhor comportamento reacional durante o processo de transesterificação das gorduras animais.

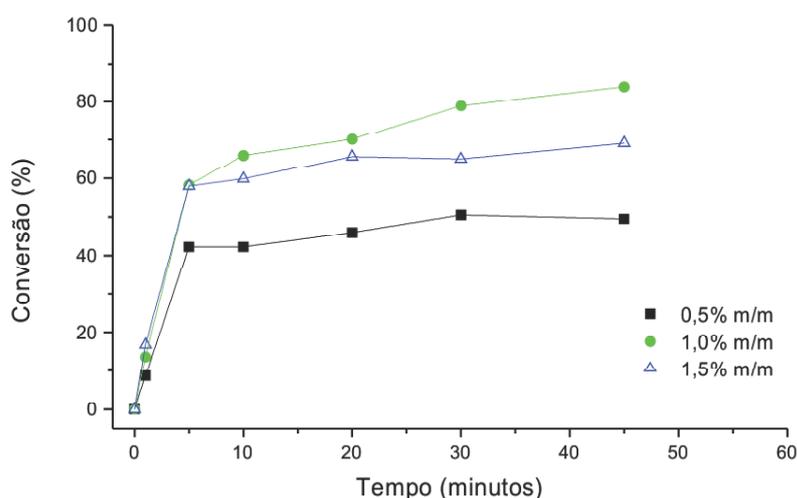


Figura 5. Efeito do nível de KOH na formação de EEAGs durante a transesterificação de gorduras animais

Com relação à conversão de gordura em biodiesel, inicialmente foram estimadas a conversão máxima (A) e a constante da velocidade da reação (K), para cada unidade experimental, utilizando a equação (1): $E(y) = A(1 - e^{-Kt})$ (1) sendo:

$E(y)$: valor esperado da conversão de gordura em biodiesel;

A : conversão máxima;

e : número natural;

K : constante da velocidade da reação.

Na Tabela 3 são apresentados os níveis descritivos de probabilidade do teste F da análise de superfície de resposta para a conversão máxima (A) e para a constante de velocidade da reação (K), em cada temperatura de reação. Verifica-se que para a conversão máxima (A) todos os efeitos foram significativos, exceto para 70°C, onde o produto cruzado não foi significativo ($p > 0,05$). Para a constante de velocidade da reação (K), apenas os efeitos lineares foram significativos, afóra os termos quadráticos na análise da temperatura a 70°C.

Tabela 3. Níveis descritivos de probabilidade do teste F da análise de superfície de resposta para cada temperatura

Causas de Variação	GL	30°C		50°C		70°C	
		A	K	A	K	A	K
Linear	2	0,0018	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0293
Quadrático	2	<0,0001	0,8534	<0,0001	0,1969	0,0008	0,1223
Produto Cruzado	1	0,0096	0,3208	0,0002	0,8582	0,7636	0,0030
Modelo Total	5	<0,0001	0,0006	<0,0001	0,0002	<0,0001	0,0049
Desvio de Regressão	3	0,2290	0,1386	0,2507	0,6170	0,0016	0,1816
R2		0,9314	0,8635	0,9760	0,9540	0,9270	0,8398

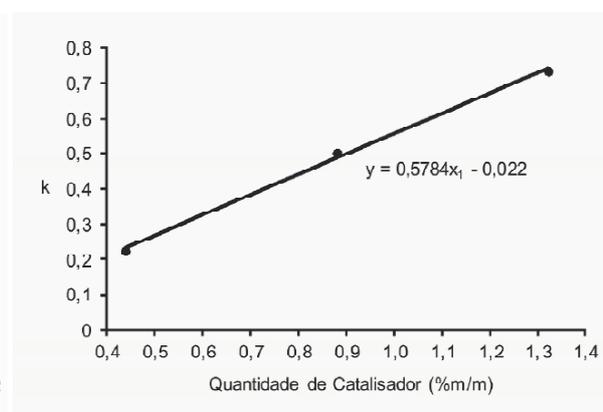
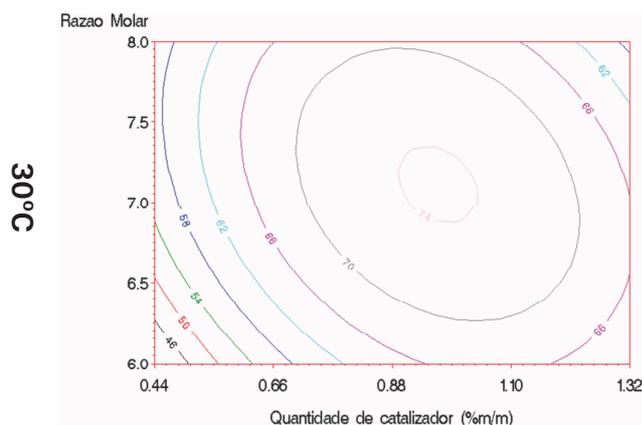
Investigando melhor os casos em que não houve efeito significativo de todos os termos, observou-se que houve efeito significativo ($p < 0,05$) apenas para K utilizando o termo linear relacionado à quantidade de catalisador nas temperaturas de 30°C e 50°C. Na temperatura de 70°C os termos lineares relacionados à quantidade de catalisador e à razão molar foram significativos ($p < 0,05$), bem como o produto cruzado entre esses dois fatores. No caso da conversão máxima (A) na temperatura de 70°C, além da não significância ($p > 0,05$) do produto cruzado, também o termo quadrático relacionado à razão molar não foi significativo. Posteriormente foi realizada uma análise de superfície de resposta, considerando os fatores razão molar e quantidade de catalisador. A Figura 6 mostra o comportamento da conversão máxima e da constante de velocidade da reação em função dos modelos finais ajustados. Com

a reação ocorrendo aos 30°C, a conversão máxima de gordura em biodiesel (74,36%) ocorre com o uso de 0,964% de catalisador e 7,107:1 de razão molar. Além disso, com a utilização de 0,964% de catalisador, espera-se que a constante de velocidade da reação seja igual a 0,5356, o que implica que em dez minutos já ocorra 99,53% da transesterificação. Finalmente, a utilização 50°C de temperatura, combinada com 0,88% de catalisador e 7:1 de razão molar (combinação que permitiu a separação espontânea nessa temperatura) leva a conversão máxima média de 72,69% com constante de velocidade da reação igual a 1,3982. Com temperaturas de 50°C e 70°C, a direção do ponto ótimo da conversão máxima (A) ocorre ao redor de 1,1% (m/m) de catalisador e 8:1 de razão molar álcool gordura, o que implica em um maior gasto de reagentes e solução.

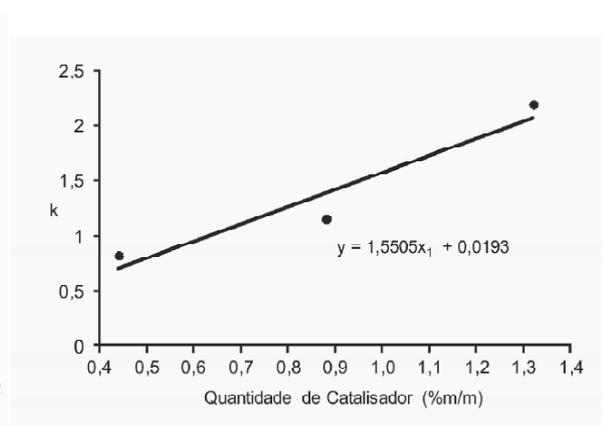
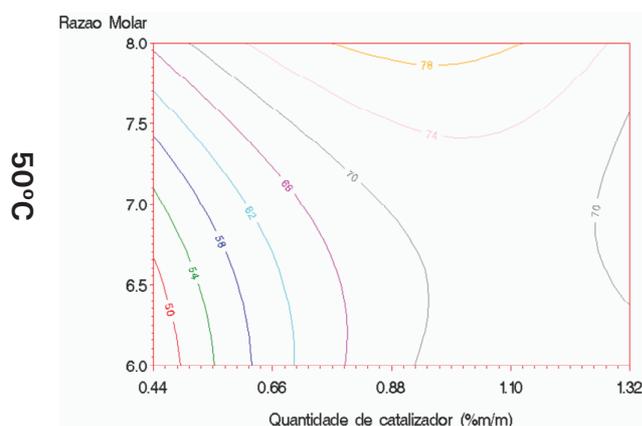
Conversão máxima (A)

Constante de velocidade da reação (K)

$$y = -398,88 + 212,80x_1 + 104,30x_2 - 67,86x_1^2 - 11,53x_1x_2 - 6,56x_2^2$$



$$y = 94,08 + 183,93x_1 - 37,44x_2 - 49,19x_1^2 - 11,37x_1x_2 + 3,76x_2^2$$



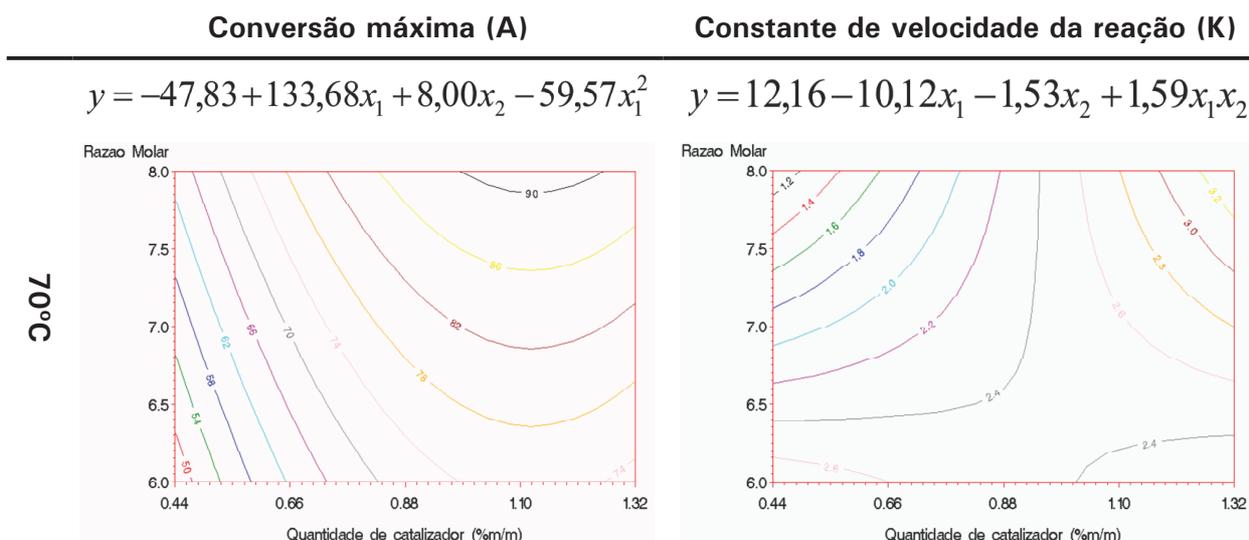


Figura 6. Gráfico de contornos e retas ajustadas da conversão máxima e da constante de velocidade da reação em função da quantidade de catalisador e da razão molar, para cada temperatura de reação (x_1 = quantidade de catalisador e x_2 = razão molar)

De acordo com os estudos preliminares utilizando técnicas cromatográficas de análise, apresentou-se a condição reacional mais favorável para obtenção de biodiesel etílico a partir de resíduos de gorduras animais com catálise homogênea. Neste contexto, tais condições (razão molar EtOH:gordura $\approx 7:1$; KOH a 1 % (m/m) em relação à gordura; $T = 30^\circ\text{C}$) foram aplicadas para produção do biocombustível em escala piloto. O balanço de massa do processo é apresentado na Tabela 4, onde estão resumidos os resultados do processamento de 25 Kg de cada tipo de gordura, em bateladas de 5 Kg. Com base nos valores de rendimentos, é possível estimar que, em média, aproximadamente 100 litros de biodiesel podem ser obtidos a partir do processamento de 100 Kg das matérias-primas sob investigação.

Tabela 4. Balanço de massa para o processo de transesterificação

Graxa mista de suínos e aves		
Massa de reagentes e produtos (g)	Gordura (840 g/mol)	5.000
	Etanol (46 g/mol)	1.950
	Biodiesel obtido (293 g/mol) ^a	4.400
	Biodiesel esperado	5.274
N.º de mol de reagentes e produtos (mol)	Gordura	6
	Etanol	42,9
	Biodiesel obtido*	15
	Biodiesel esperado em g	18
Rendimento (%)	Rendimento em massa (%)	83
	Rendimento molar (%)	83
Graxa ácida do flotado		
Massa de reagentes e produtos (g)	Gordura (837 g/mol)	5.000
	Etanol (46 g/mol)	1.950
	Biodiesel obtido (293 g/mol) ^a	4.300
	Biodiesel esperado	5.250
N.º de mol de Reagentes e Produtos (mol)	Gordura	6
	Etanol	42,9
	Biodiesel obtido ^a	14,7
	Biodiesel esperado em g	18
Rendimento (%)	Rendimento em massa (%)	82
	Rendimento molar (%)	82

*Produto purificado.

Devido à natureza dos materiais de partida, as amostras de biodiesel apresentaram composições semelhantes, tendo como constituintes majoritários os seguintes ésteres etílicos de ácidos graxos: C14:0 (1,0%), C16:0 (18,5%), C16:1 (2,5%), C18:0 (6,0%), C18:1 (40 %), C18:2 (26%), C18:3 (1,5%), C20:2 (0,7%) e C20:4 (0,5%). Na Tabela 5 são apresentadas as principais propriedades das amostras de biocombustível produzidas. Em termos gerais, frente à concordância das características observadas com os parâmetros regulamentados pela AGÊNCIA

NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (2008), o biodiesel apresentou qualidade satisfatória para uso como aditivo ou combustível em motores de combustão – ciclo diesel.

Tabela 5. Propriedades do biodiesel produzido a partir de resíduos de gorduras animais

Ensaio	Un.	Esp ^a	BD-1 ^b	BD-2 ^c
Aspecto	-	LII ^d	LII a 19,5°C	LII a 20,0°C
Massa específica a 20°C	Kg/m ³	850-890	870	870
Viscosidade cinemática a 40°C	mm ² /s	3,0-6,0	4,822	4,613
Na + K	mg/kg	5 máx	0,67	0,3
Ca + Mg	mg/kg	5 máx	0,7	0,8
Ponto de entupimento de filtro a frio	°C	19 máx	-2	-2
Índice de acidez	mgKOH/g	0,50 máx	0,07	0,06
Etanol	% massa	0,20 máx	0,06	0,00
Ponto de fulgor	°C	100,0 mín	149,5	181,0
Resíduo de carbono	% massa	0,050 máx	0,005	0,007
Índice de iodo	g/100g	Anotar	77,690	80,697
Estabilidade à oxidação	h	6 mín	2,6	1,7
Glicerol livre	% massa	0,02 máx	0,00	0,00
Glicerol total	% massa	0,25	0,24	0,33
Monoglicerol	% massa	Anotar	0,23	0,23
Diglicerol	% massa	Anotar	1,04	1,63
Triglicerol	% massa	Anotar	0,26	0,35

^aEspecificações da Resolução ANP N° 7, DE 19.03.2008 – DOU 20.03.2008 (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2008).

^bBiodiesel de graxa mista de suínos e aves;

^cBiodiesel de graxa ácida do flotado;

^dLímpido e isento de impurezas.

Tecnologias geradas

Processo de produção de biodiesel a partir de gorduras provenientes de abatedouros de aves e suínos por meio do método de transesterificação.

Considerações finais

Os resíduos de gorduras animais (mista de aves e suínos e flotada ácida) com IA < 0,1% são fontes renováveis de biomassa para obtenção de biodiesel etílico com qualidade satisfatória para uso comercial. Dessa forma, a preparação do biocombustível pode ser realizada em condições brandas (30°C), usando-se a razão molar etanol/gordura de 7:1 e KOH como catalisador a 1% (m/m) alcançando-se uma conversão de aproximadamente 75%. Além disso, a produção de biodiesel pode ser realizada pela transesterificação de misturas de gorduras animais, já que o comportamento da reação é similar para os diferentes materiais de partida.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Resolução nº 7 de 19 mar. 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 55, 20 mar. 2008. Seção 1, p. 37-39.

BALANÇO energético nacional de 2003. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2004. 168 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 2 set. 2010.

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.

FROEHNER, S.; LEITHOLD, J.; LIMA JÚNIOR, L. F. Transesterificação de óleos vegetais: caracterização por cromatografia em camada delgada e densidade. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 2016-2019, 2007.

GÜRÜ, M.; KOCA, A.; CAN, Ö.; ÇINAR, C.; SAHIN, F. Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine. **Renewable Energy**, v. 35, n. 1, p. 637-643, jan. 2010.

HUANG, Y. P.; CHANG, J. I. Biodiesel production from residual oils recovered from spent bleaching earth. **Renewable Energy**, v. 35, n. 1, p. 269-274, jan. 2010.

MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 3, p. 248-268, jun. 2006.

SAS Institute Inc. **System for Microsoft Windows**: release 9.1. Cary, N.C., 2003. 1 CD-Rom.

SANTOS FILHO, J. I. dos; HIGARASHI, M. M.; ABREU, P. G. de; ZANOTTO, D. L. Potencial de produção de gordura do efluente dos flotados oriundos do abate de suínos e frangos. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 7., 2010, Belo Horizonte. **Biodiesel**: inovação tecnológica e qualidade: anais: trabalhos científicos. Lavras: UFLA, 2010. p. 661-662. v. 2.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 199-210, may/jun. 1998.

SHARMA, Y. C.; SINGH, B.; UPADHYAY, S. N. Advancements in development and characterization of biodiesel: a review. **Fuel**, v. 87, n. 12, p. 2355-2373, 2008.

SWISHER, K. The emerging South American biodiesel industry. **Render Magazine**, p. 26-27, feb. 2009.

VIANA, D. S.; RABELO, J. M. de O.; ROSSI, L. F. dos S. Viabilidade técnica e econômica do uso de biodiesel de gordura animal na frota de transporte da região metropolitana de Curitiba. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 5., 2008, Salvador. [Anais...] Salvador: ABCM, 2008.