

Obtenção e Caracterização Físico-química do Biodiesel B100 e de Misturas Biodiesel/Diesel

Obtain and Physicochemical Characterization of Biodiesel B100 and Blends Biodiesel/Diesel

André Lazarin Gallina

Departamento de Química

Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Guarapuava, PR

andregallina@gmail.com

Elisiane Karam Folador Folquenin

Departamento de Química

Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Guarapuava, PR

lisifolador@yahoo.com.br

Everson do Prado Banczek

Departamento de Química

Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Guarapuava, PR

edopradobanczek@yahoo.com.br

Maico Taras da Cunha

Departamento de Química

Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Guarapuava, PR

maico_tc@yahoo.com.br

Christiane Philippini Ferreira Borges

Departamento de Química

Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Ponta Grossa, PR

cpfborges@uepg.br

Recebido em 03/11/2011 - Aceito em 08/02/2012.

RECEN Guarapuava, Paraná v. 13 nº 2 p. 211-226 jul/dez 2011

Paulo Rogério Pinto Rodrigues

Departamento de Química

Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Guarapuava, PR

prprodrigues@unicentro.br

Resumo: A utilização de biodiesel 2% v/v como aditivo ao diesel automotivo foi comercializada no Brasil entre 2008 e 2009. Na atualidade, é comercializada a mistura biodiesel/diesel de 5% v/v. Assim, é de extrema importância uma avaliação do impacto comercial e ambiental de amostras de biodiesel B100 produzido e das misturas. O objetivo deste trabalho é analisar fisicoquimicamente amostras de biodiesel B100, obtido das oleaginosas: soja, canola e girassol, além de caracterizar as misturas biodiesel/diesel, utilizando-se o biodiesel B100 oriundo da soja. Análises químicas básicas foram feitas em amostras B100, obtidas via rota etanólica, utilizando-se o óleo de soja com matéria-prima e comparando-as com a rota metanólica. Os resultados de cor, densidade, ponto de fulgor foram praticamente os mesmos dentro da precisão experimental, mas os espectros de infravermelho de amostras de B100, obtido pelas duas rotas utilizadas apresentaram picos diferenciados.

Palavras-chave: biocombustível; bioenergia; transesterificação.

Abstract: The use of biodiesel 2% v/v as an additive in automotive diesel was sold in Brazil between 2008 and 2009 however, the mixture biodiesel/diesel 5% v/v is currently marketed. Thus, it is an extremely important to evaluate business and environmental impact of samples B100 biodiesel produced and blends. The objective of this paper is to analyze physicochemical B100 biodiesel samples obtained from oilseeds: soybeans, canola, sunflower, besides characterizing mixtures biodiesel/diesel, using biodiesel B100 originated from soy. Basic chemical analysis were made in samples B100, obtained via ethanol route, using soybean oil as raw material and comparing them with the methanol route. The results of color, density, flash point were nearly the same within the experimental accuracy, but the infrared spectra of samples B100, obtained by two different routes used, showed different peaked.

Key words: bioenergy; biofuel; transesterification.

1 Introdução

A maior parte de energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão, do gás natural e hidroelétricas. Os problemas ambientais [1–7] causados na produção e consumo destas energias, tais como o aquecimento global associado ao difícil acesso ao combustível fóssil, levam a humanidade à busca de fontes alternativas de energia. A busca mundial está focada em energias renováveis [8] e não poluidoras, colocando o Brasil à frente de outros países devido à liderança e ao domínio em pesquisas e desenvolvimentos de tecnologias para produção e uso de bioenergia. Esta liderança é promovida pela larga experiência brasileira na produção de álcool hidratado combustível [1, 2].

Na última década, a questão ambiental deixou de ser vista como domínio exclusivo dos ecologistas e passou a ser incorporada às preocupações centrais da sociedade. Isto pode ser percebido pelo incontável número de iniciativas políticas direcionadas à conservação dos recursos naturais [3].

Atualmente, temas relativos à biocombustíveis ocupam grande parte dos esforços e investimentos de empresas e países, apesar de o desenvolvimento econômico almejado pelo Brasil e por outros países tecnologicamente dependentes do combustível fóssil não ter sido similar ao dos países industrializados [3].

O uso da mistura de biodiesel + diesel, promovida pelo governo brasileiro desde janeiro de 2008, além de minimizar a poluição ambiental produzida pelo uso apenas do combustível fóssil, pode promover e aumentar a distribuição de renda, principalmente devido à produção das oleaginosas e do biodiesel por pequenos produtores agrícolas [4].

Deve-se ressaltar que o Brasil somente regularizou o uso e a produção do biodiesel em 2005, por intermédio do Decreto N° 5.488, em 20 de maio de 2005, que regulamenta a lei 11.097 (janeiro de 2005) [1, 9], estabelecendo as análises de conformidade de combustível brasileiro designado de B2 (biodiesel 2% v/v + diesel 98% v/v) no Art. 5º: ponto de fulgor, aspecto, cor e massa específica. Estas análises mínimas podem não ser suficientes para garantir ao consumidor a qualidade do combustível

adquirido e pesquisas, em termos de aplicação de outras análises, têm sido feitas pelo nosso grupo de pesquisa, como potencial hidrogeniônico (pH), condutividade e espectroscopia na região do infravermelho [10–17].

O objetivo deste trabalho é obter e caracterizar amostras de biodiesel B 100 (de soja, canola e girassol) e misturas biodiesel + diesel de acordo com as especificações exigidas pela ANP. Além disso, pretende-se aferir se as especificações exigidas pela ANP são suficientes para diferenciar amostras B2 oriundas da mistura de diesel e biodiesel B 100.

2 Materiais e métodos

2.1 Obtenção do biodiesel

A metodologia empregada para a produção do biodiesel, vide figura 1, foi a mesma para todas as amostras, variando apenas a matéria prima (soja, canola, girassol), o álcool utilizado para a reação de transesterificação (etanol, metanol) e o processo de lavagem/neutralização [17].

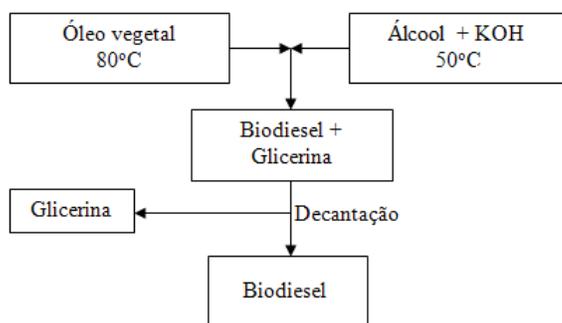


Figura 1. Fluxograma da produção de biodiesel

O excesso de álcool foi retirado pelo processo de destilação simples a uma temperatura próxima de 40° C para o metanol e 70° C para o etanol, até que todo álcool residual fosse recuperado.

2.2 Obtenção das misturas biodiesel/diesel

Foram preparadas diferentes misturas óleo diesel + biodiesel (B100 de soja via rota etílica), variando as porcentagens de ambos. Por exemplo, no caso do B2, misturando 98% de óleo diesel com 2% de biodiesel. As amostras testadas foram B2, B10, B20, B50, B90 e B100.

2.3 Análises físico-químicas

2.3.1 Ponto de fulgor

Ponto de fulgor é a menor temperatura na qual o combustível gera quantidade de vapores que se inflamam ao se aplicar uma chama, em condições controladas. Essa característica em combustíveis está ligada à sua inflamabilidade e serve como indicativo dos cuidados a serem tomados durante o manuseio, transporte, armazenamento e uso do produto [11].

O teste consistiu em aplicar uma chama padrão em uma amostra de biodiesel colocada em um equipamento de vaso fechado do tipo PENSKY-MARTENS e submetida ao aquecimento controlado, até que os vapores gerados se inflamem. A ANP estipula como sendo de 100°C o ponto de fulgor mínimo para o B100. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 92 [9].

2.3.2 Massa específica

Esta medida é a relação entre a massa específica dos combustíveis e biocombustíveis à 20°C (em kg/m³) e massa específica da água (em kg/m³) a 4° C.

Os motores são projetados para operar com combustíveis em determinada faixa de densidade, tendo em vista que a bomba injetora dosa o volume injetado. Quando a densidade varia, o conteúdo energético da porção injetada e a relação ar-combustível, na câmara de combustão, ficam alteradas [11].

Valores de densidades acima das faixas de regulação podem levar à mistura rica de ar/combustível, o que aumenta a emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado. Valores baixos para a densidade podem

favorecer a formação de mistura pobre, o que leva à perda de potência do motor e ao aumento de consumo de combustível. As normas utilizadas para este ensaio foram ASTM – D1298 e NBR – 7148 [9].

2.3.3 Destilação

Essa análise visa a controlar o teor de frações pesadas no óleo com o objetivo de minimizar a formação de depósitos no motor, emissões gasosas de hidrocarbonetos não-queimadas, emissão de fumaça preta e de óxidos de nitrogênio [9, 11]. O equipamento utilizado foi um destilador manual, de acordo com a norma ASTM D 86.

2.3.4 Condutividade

Como a medida de condutividade requer a presença de íons para que a amostra conduza corrente elétrica, esta técnica não é comumente utilizada para as análises de moléculas que não se dissociam, como o caso de diesel e biodiesel. Entretanto, ela pode indicar, nas misturas de biodiesel + diesel, se a amostra do biodiesel B100 foi neutralizada ou se ainda existe a presença de KOH, metóxido ou etóxido [9, 11]. O equipamento utilizado foi um condutímetro da marca Digimed, modelo DM-31. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 1125.

2.3.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

A medida de pH do biocombustível mostra o potencial hidrogeniônico da amostra. Esta medida refere-se principalmente ao processo de lavagem ácida em relação à neutralização do biodiesel ($\text{pH}=7+1$). Se o combustível estiver reprovado neste parâmetro, as consequências podem ser corrosão das peças metálicas dos automóveis, entupimento da bomba de injeção entre outros problemas associados ao processo de corrosão [11]. O equipamento utilizado foi um pHmetro da marca Digimed, modelo DM-21. O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 10891 [9].

2.3.6 Cor e aspecto

As determinações da cor visual e do aspecto das amostras foram feitas em um recipiente com a amostra contra a luz observando cuidadosamente a presença de impurezas e/ou água no fundo do recipiente e a coloração do produto [9, 11]. O julgamento do aspecto deve ser:

- I. Límpido e isento de impurezas;
- II. Límpido e com impureza;
- III. Turvo e isento de impurezas, ou
- IV. Turvo e com impurezas.

2.3.7 Espectroscopia na região do infravermelho

Em relação ao espectro do infravermelho, as regiões de maior interesse quando se fala em combustíveis como o diesel e biodiesel são basicamente as referentes às ligações carbono e hidrogênio (3000 a 2840 cm^{-1}), carbono dupla oxigênio (1750 a 1715 cm^{-1}) e carbono simples oxigênio (1320 a 1230 cm^{-1}), conforme tabela 1. O aparelho utilizado foi um espectrômetro Varian 660 – IR.

Tabela 1. Bandas de interesse para a análise de biodiesel [12]

Ligação	Número de onda (cm^{-1})
C-H	3200-2800
C=O	1750-1715
C=C	1500
C-O	1320-1230
O-H	3700-3200

3 Resultados e discussões

Os resultados das análises de massa específica (d), cor e pH das amostras de biodiesel B100 obtidas, são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Massa específica (*d*), pH e cor das amostras de biodiesel de diferentes oleaginosas, via rota etanólica e metanólica

Oleaginosa	Rota	<i>d</i> (kg.m ³)	pH	Cor
Soja	Metanólica	879,5±0,5	11	Amarelo claro
Soja	Etanólica	878,9±0,9	10	Amarelo claro
Girassol	Etanólica	872,2±1,0	10	Amarelo escuro
Canola	Etanólica	877,3±1,0	10	Amarelo escuro

Ressalta-se que os valores de densidade encontram-se dentro do limites permitidos para biodiesel B-100 pela ANP, de 800 a 900 kgm⁻³.

Na figura 2, melhor visualizam-se as diferentes tonalidades em relação às cores dos biodieseis da tabela 2, tendo como referência o diesel (cor mais escura).



Figura 2. Fotografia das amostras de biodiesel B100 obtidas via rota etanólica, a partir de oleaginosas de (A) girassol, (B) canola, (C) soja e (D) soja (via rota metanólica)

Nota-se, pela figura 2, que a coloração é mais intensa para as amostras C e D, em relação às amostras A e B. Possivelmente esta diferença está relacionada à matéria prima utilizada.

Nos espectros de infravermelho das amostras de biodiesel, apresentados na figura 3, verifica-se a existência de picos característicos de amostras de biodiesel B100, 1725 cm⁻¹ para C=O e de 1100 a 1300 cm⁻¹ referente à C-O.

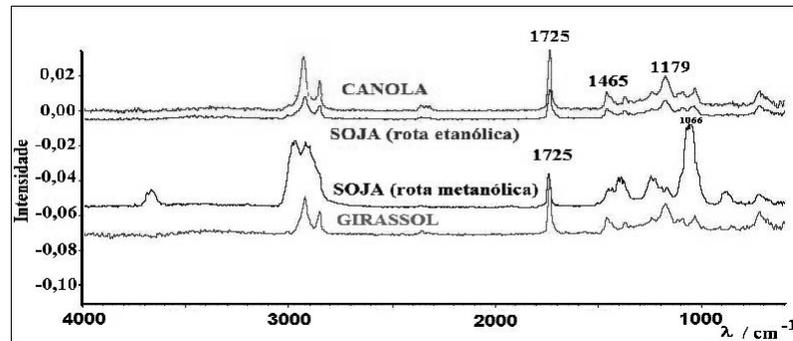


Figura 3. Espectros de infravermelho (IR) para as diferentes amostras de biodiesel

Ressalta-se que a amostra de B100 obtida via rota metanólica apresenta pico característico em 3735 cm^{-1} , que está relacionado com a vibração de deformação axial da ligação O–H e um pico acentuado em 1066 cm^{-1} , deformação axial de C–O de alcoóis primários. A presença deste no espectro da rota metílica indica que foi usado um excesso de metanol e este não foi totalmente eliminado no processo de destilação.

O resultado das medidas de massa específica, das misturas biodiesel (rota etílica)+diesel (B100, B90, B50, B10, B20 e B2), derivados do óleo de soja são apresentados na figura 4.

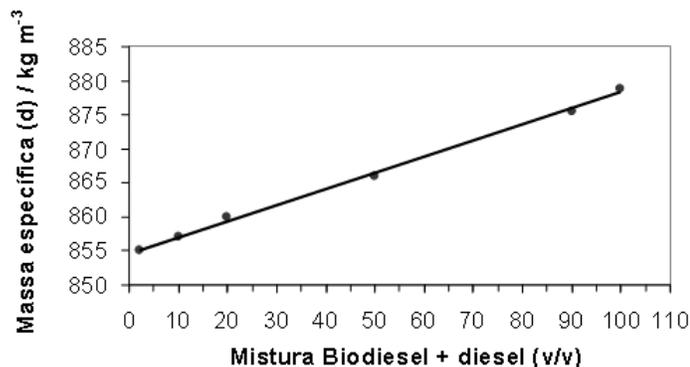


Figura 4. Massa específica média em função do percentual do biodiesel em diesel

Na figura 4 observa-se que quanto maior a adição de biodiesel ao óleo diesel, maior é a massa específica. Isto devido ao diesel ser constituído por hidrocarbonetos com pesos moleculares mais baixos do que o biodiesel, que apesar de ser constituído basicamente por carbono e hidrogênio, também é duplamente oxigenado (ligação

éster entre ácido graxo e o álcool). Sendo assim, deve possuir uma massa específica maior ($d=879,5\pm 0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Com o fato de o intervalo de massa específica permitido ser grande, dificilmente ocorrem casos em que os valores medidos desta análise encontram-se fora dos especificados pela ANP ($820\text{-}880 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ para o diesel e $850\text{-}900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ para o biodiesel).

Como é ilustrado na figura 4, ao dispor os resultados de massa específica e teor de biodiesel no diesel, obtém-se um comportamento linear obedecendo à equação $y = ax + b$, em que x está relacionado com o teor da mistura diesel/biodiesel e b refere-se à massa específica do diesel sem biodiesel, sugerindo que para um mesmo lote biodiesel e diesel, pode-se obter o teor de biodiesel no diesel somente medindo a massa específica das misturas biodiesel + diesel. Porém, é necessário que seja feita uma curva de calibração, como por exemplo, para B5, B20, B50, B80 e B100. Posteriormente, afere-se a massa específica(d) da amostra desconhecida e, com o auxílio da equação obtida da curva de calibração, pode-se obter o teor de biodiesel em diesel na amostra desconhecida. A equação que representa essa linearidade entre massa específica e teor de biodiesel no diesel está apresentada na equação (1).

$$d = 0,2366 \cdot x + 854,67 \quad (1)$$

A coloração para o biodiesel foi amarela, para o diesel vermelha e, para as misturas de biodiesel e diesel tiveram variações na coloração de acordo com as percentagens das misturas.

Quanto ao aspecto, em nenhuma amostra se presenciou visualmente micropartículas nas misturas geradas e nem na amostra B100, especificando este biodiesel como límpido e isento de impurezas. Estes agentes, tais como micropartículas e colóides, são os problemas mais comuns encontrados em amostras de diesel e biodiesel.

As medidas de pH e condutividade não sofreram mudanças significativas para as misturas de biodiesel + diesel, sendo o valor $\text{pH} = 7\pm 1$ e a condutividade média de $240\pm 10 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$. A variação do pH é devido à diluição do biodiesel no diesel, pois o diesel tem um pH próximo de 7. Vale salientar que a mudança de pH e da condutividade é devido à presença do biodiesel não lavado adicionado ao diesel.

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) mostram que o valor médio está entre 6 a 7, valor este permitido pelas normas da ANP, indicando baixa acidez ($7,0 \pm 1,0$), o que pode promover a passividade dos metais do motor do automóvel ou dos tanques de estocagem que entrarão em contato com o combustível.

A análise de ponto de fulgor detecta, através do valor mínimo de especificação, as frações leves que devem estar contidas no óleo diesel e no biodiesel. As temperaturas mostradas na figura 5, como valor de ponto de fulgor mínimo das misturas biodiesel/diesel, significam o que deve ser a temperatura mínima na qual os primeiros vapores da amostra são liberados em quantidades suficientes para promover a combustão.

Para obter-se um valor correto de ponto de fulgor, é necessário fazer a correção de pressão, pois o ponto de fulgor é uma questão de equilíbrio entre a pressão de vapores dissolvidos no líquido e a pressão atmosférica, logo, à medida que se diminui a pressão em relação a 760 mmHg, há também um abaixamento do ponto de fulgor. Este é o caso das medidas em Guarapuava-PR, onde a pressão atmosférica fica em torno de 675 mmHg, devido à altitude média de 1150 m, havendo a necessidade de se fazer uma correção deste ponto de fulgor pela equação (2).

$$\frac{760 - P_{dia} \cdot 0,9}{25} = X \quad X + PF_{medido} = PF_{corrigido} \quad (2)$$

Os valores corrigidos de ponto de fulgor das amostras de biodiesel+diesel são apresentados na figura 5.

De acordo com os resultados da figura 5, nota-se que as misturas biodiesel + diesel e biodiesel B100 estão dentro dos limites permitidos pela ANP (ponto de fulgor mínimo de 38° C para o diesel, 100° C para o biodiesel).

Os resultados mostram que o aumento do teor de biodiesel em diesel aumenta a temperatura de fulgor linearmente, de acordo com a equação (3), sugerindo que com o ponto de fulgor pode ser conhecido o teor de biodiesel em misturas de biodiesel + diesel, desde que se conheça a do diesel e da amostra B100.

$$PF = 0,5236x + 42,762 \quad (3)$$

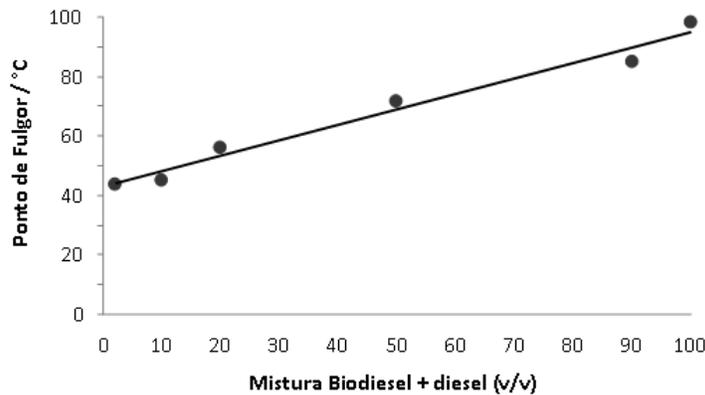


Figura 5. Pontos de fulgor corrigidos para diferentes misturas de biodiesel + diesel. Biodiesel oriundo da soja

Os ensaios de destilação da figura 6 apresentam como esperado comportamentos distintos entre as amostras. Estes, então, podem ser divididos em três partes: a primeira para as amostras de diesel e mistura B2 que estão ilustrados na figura 7; a segunda para as misturas B10, B20 e B50 (vide figura 8); e a terceira parte relacionada às misturas B90 e o biodiesel puro B100 (figura 9).

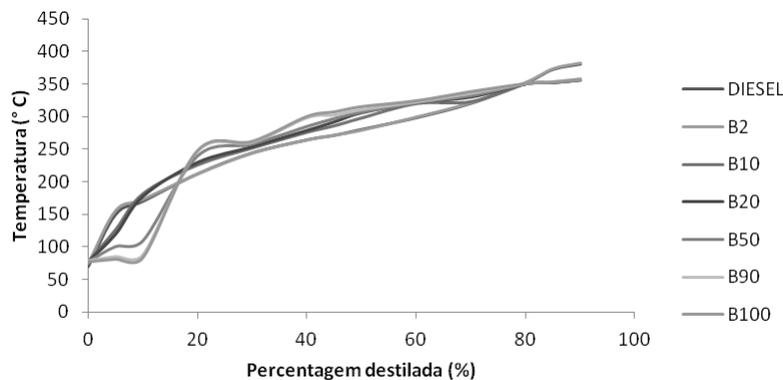


Figura 6. Curvas de destilação das amostras de diesel e misturas de biodiesel + diesel. Biodiesel oriundo da soja

Na análise do gráfico da figura 7, as curvas têm comportamentos muito semelhantes e, assim, pode-se sugerir que a adição de 2% de biodiesel no diesel interior não trará danos aos motores movidos a diesel.

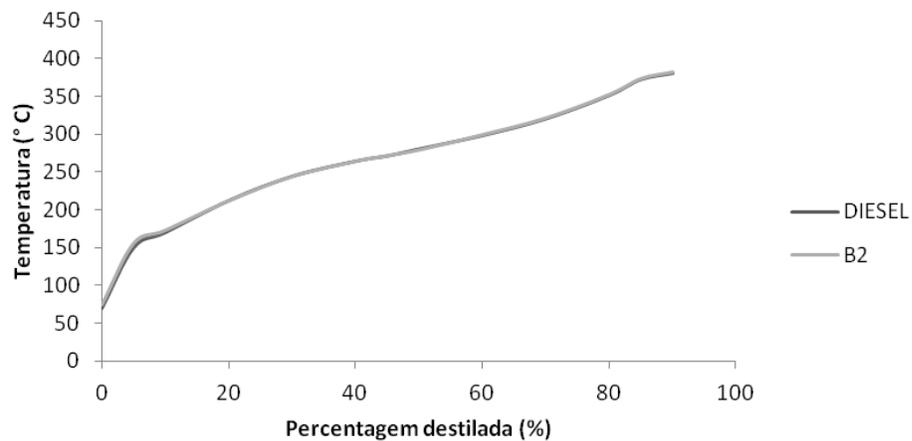


Figura 7. Curvas de destilação para o diesel e mistura B2 (dados oriundos da figura 6)

Na figura 8, estão apresentadas as curvas de destilação as amostras B10 e B20.

A figura 8 ilustra o segundo comportamento, em que a porcentagem de biodiesel acima de 10% provoca mudanças significativas nas curvas de destilação. Esta mudança no perfil da curva é mais bem evidenciado nas proporções acima de 50% de biodiesel na misturas biodiesel+diesel.

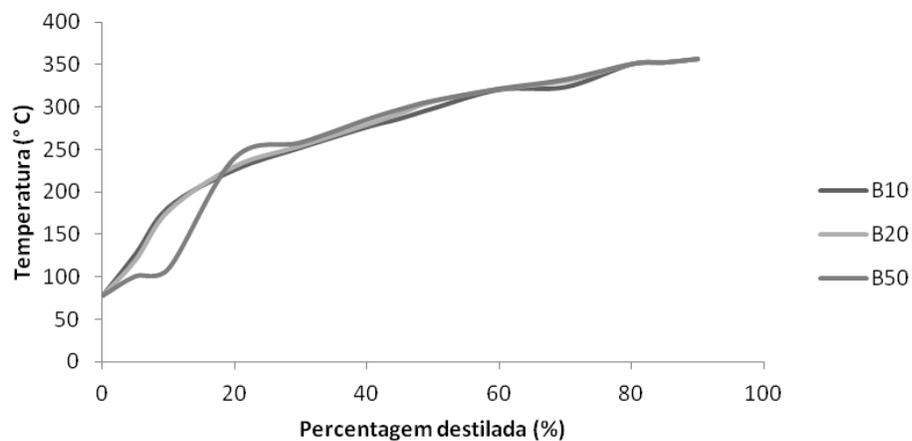


Figura 8. Curvas de destilação das misturas B10, B20 e B50 (dados oriundos da figura 6)

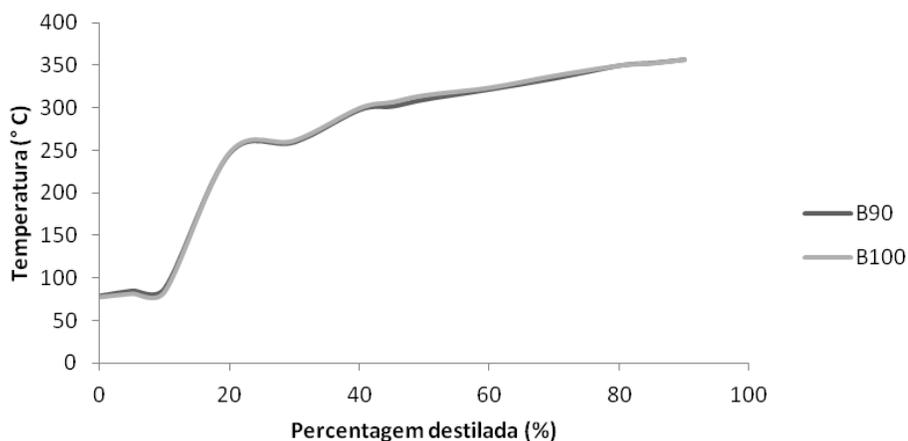


Figura 9. Curvas de destilação da mistura B90 e biodiesel B100 (dados oriundos da figura 6)

Na figura 9, são apresentadas as curvas de destilação para as amostras de B90 e B100. As curvas têm um comportamento muito diferente dos casos anteriores. O teor de biodiesel é influente na curva de destilação, gerando “ombros” característicos na faixa de percentual destilado de 20 a 30%.

4 Conclusão

1. A produção de biodiesel B100 obtida a partir de diferentes oleaginosas, como soja, girassol e canola, podem ocasionar mudanças de cores e valores diferenciados de massa específica, tornando-se necessário, sempre, se conhecer a amostra B100 para se fazer misturas de biodiesel em diesel;
2. As medidas de ponto de fulgor podem ser utilizadas para se quantificar o teor de biodiesel em diesel, desde que se conheça a amostra originária de biodiesel, B100;
3. As medidas exigidas pela portaria ANP para se averiguar a conformidade da amostra de mistura de biodiesel em diesel (ponto de fulgor, massa específica, aspecto e cor), não são garantia da qualidade da amostra de origem, B100;
4. Como prevenção da qualidade da mistura de biodiesel + diesel, deve-se utilizar

no boletim de conformidade deste combustível a análise de pH;

5. As curvas de destilação foram diferenciadas de acordo com o teor de biodiesel na mistura biodiesel + diesel, podendo ser utilizadas na identificação de possíveis solventes presentes no biocombustível, além de distinguir amostras de diesel e misturas biodiesel+diesel.

5 Referências

- [1] HOLANDA, A. Biodiesel e introdução social. Série Cadernos de Altos Estudos, n.1, Brasília, 2004.
- [2] CHAIN, C.; NUCCI, J. P.; RODRIGUES, L. De volta ao álcool. *Isto É*, São Paulo, SP, n. 1717, p. 76–77, 2002.
- [3] FEROLLA, G. ISO 14000 - Desafios para o desenvolvimento tecnológico. Seminário realizado pela ABIPTI. Rio de Janeiro, 1999.
- [4] PARENTE, E. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. *Tecbio*, Fortaleza, 2003.
- [5] MORAES, J. R. Manual dos óleos vegetais e suas possibilidades energéticas. Confederação Nacional da Indústria, Departamento de assistência à média e pequena indústria, 1981.
- [6] BURSZTYN. C&T para o desenvolvimento sustentável – Formulação e implementação de políticas públicas compatíveis com os princípios do desenvolvimento sustentável definidos na agenda 21, 2009. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/SE/agen21/21_bras.html. Acesso em: out/2009.
- [7] VIOTTI, E. B. Ciência e tecnologia e desenvolvimento sustentável: tecnologia para processos produtivos. Brasília, 1999.
- [8] CARBÓ, H. M. Energia Renovável. Sua Pesquisa.com. Março/2009. Disponível em: http://www.suapesquisa.com/o_que_e/energia_renovavel.htm. Acesso em: mai/2011.

- [9] ANP - Agência Nacional do Petróleo. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: jan/2011.
- [10] BORSATO, D.; GALÃO, F. O.; MOREIRA, I. Combustíveis fósseis. Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina, 2005.
- [11] SHERIVE, R.; N.; BRINK, J. Indústria dos processos químicos. Rio de Janeiro: Guanabara, 2002.
- [12] SOUZA, L. F.; RODRIGUES, P. R. P. Análise de biodiesel por espectroscopia no infravermelho por reflexão total atenuada horizontal. In: XIII Encontro de Química da Região Sul. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, CD, 2005.
- [13] CARRARETTO, C.; MACOR, A.; MIRANDOLA, A.; STOPPATO, A.; TONON, S. Biodiesel as alternative fuel: experimental analysis and energetic evaluations. *Energy*, v. 29, n. 2, p. 195–211, 2004.
- [14] COLETTI, R. A. Biodiesel: Combustível renovável e ambientalmente correto. *Revista Biodiesel BR*. São Paulo, v. 3, n. 3, p. 21–25, 2005. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/destaques/2005/combustiveisrenovavel.htm>. Acesso em: mai/2010.
- [15] GERHARD, K.; GERPEN, J. V.; RAMOS, L. P. Manual do biodiesel. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- [16] COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Quim Nova*, v. 23, n. 4, p. 531–537, 2000.
- [17] GALLINA, A. L.; STROPARO, E. C.; CUNHA, M. T.; RODRIGUES, P. R. P. A corrosão do aço inoxidável austenítico 304 em biodiesel. *Rev Esc Minas*, v. 63, n. 1, 2010.