



OBTENÇÃO E ESTUDO DAS CURVAS DE DESTILAÇÃO PARA DIESEL E BIODIESEL

Robson Luis Schuarça¹; Emerson Martim²

¹ Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola Politécnica – robsonengquim@gmail.com

² Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Escola Politécnica – emerson.martim@pucpr.br

RESUMO

O presente trabalho visa à obtenção das curvas de destilação ASTM D1160 para amostras de diesel e biodiesel, de forma a analisar a viabilidade da aplicação desta metodologia para a otimização do processo da Unidade Piloto de Produção de Biodiesel da PUCPR, e efetuar uma comparação entre as propriedades de destilação de ambos. A interpretação dos perfis ponto de bolha corrigido por volume destilado fornece as mudanças na composição do biodiesel decorridas de alterações no processo de produção, como a concentração dos catalisadores, a temperatura e o tempo de residência dos reatores. Uma vez otimizado, torna-se possível a produção de um combustível de matérias primas renováveis, adequado às normas da ANP, e com custo reduzido, devido à ausência de operações de purificação como extração líquido-líquido e destilação. O uso desta metodologia de análise apresenta-se viável, uma vez que é de baixo custo, pode ser feita em campo, e possibilita a rápida obtenção de resultados de uma vasta quantidade de amostras geradas.

Palavras-chave: Curvas de Destilação ASTM D1160, Biodiesel Etílico de Soja, Biodiesel Etílico de Óleo de Fritura Reutilizado, Biodiesel Metílico de Soja, Diesel S10.

1. INTRODUÇÃO

Para que se desenvolva uma análise adequada das curvas de destilação obtidas pela ASTM D1160, faz-se necessária a compreensão das características químicas e das propriedades físico-químicas dos combustíveis diesel de baixo teor de enxofre e dos diferentes tipos de biodiesel.

A reação que ocorre para a produção do biodiesel é a de transesterificação. Nela, materiais lipídicos como óleos vegetais e gorduras animais reagem com alcoóis, usualmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador, homogêneo (ácido e/ou base) ou heterogêneo para produzir os alquil ésteres correspondentes e glicerol. Quando a conversão da reação está

abaixo do esperado, produz-se além destas duas espécies, subprodutos indesejados como sabão, se o catalisador é básico, glicerídeos e ácidos graxos não reagidos (KNOTHE, et. al., 2011).

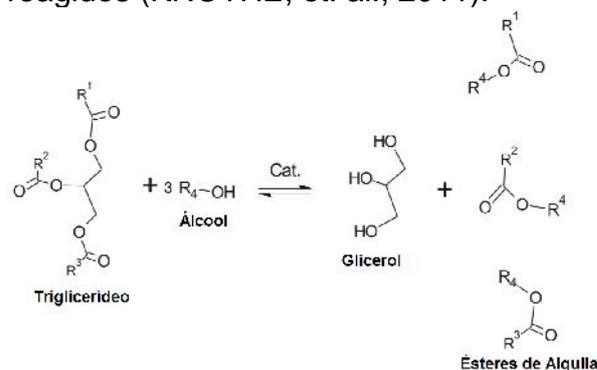


Figura 1 – Reação de transesterificação

Os ésteres graxos de maior relevância para o biodiesel, com suas propriedades estão apresentados na tabela 1 (KNOTHE, et. al., 2011).



Tabela 1 - Pontos de Ebulição (PE) normal dos Ésteres

Éster de Ácido	NC:NI	Metílico	Etílico
Caprílico	08:00	193°C	208,5°C
Cáprico	10:00	224°C	243-5°C
Láurico	12:00	266°C	163°C
Mirístico	14:00	295°C	295°C
Palmítico	16:00	415-8°C	191°C
Esteárico	18:00	442-3°C	199°C
Oléico	18:01	218,5°C	216-7°C
Linoleico	18:02	270-5°C	270-5°C
Linolênico	18:03	174°C	174°C
Erúxico	22:01	221-2°C	229-30°C

A sigla NC é indicadora do número de carbonos por molécula, e a sigla NI do número de insaturações, na forma (n), onde n indica a posição do carbono em relação ao carbono do radical carboxila.

Gutierrez e Fonseca (1974), e Andrade, et. al. (2011) efetuaram análises cromatográficas de amostras de óleo de soja para determinar a sua composição média. Seus resultados estão expressos na tabela 2, na forma de porcentagem em massa dos ácidos graxos específicos em relação à mistura, de modo que os ácidos graxos saturados são comparados aos saturados totais, e os insaturados são comparados aos insaturados totais.

Tabela 2 - Ácidos Graxos no Óleo de Soja

Ácido Graxo	Insaturações	NC:NI	Fração por Gutierrez	Fração por Andrade
Láurico	Saturado	12:0	-	< 0,1
Mirístico	Saturado	14:0	0,20	< 0,5
Palmítico	Saturado	16:0	11,35	5 – 14
Palmitoléico	(9)	16:1	0,05	< 0,5
Esteárico	Saturado	18:0	4,15	1,4 – 5,5
Oléico	(9)	18:1	25,30	18 – 30
Linoléico	(9,12)	18:2	50,60	44 – 64
Linolênico	(9,12,15)	18:3	8,20	4 – 11
Aranídoco	Saturado	20:0	0,15	< 1,0
Gadóico	(11)	20:1	-	< 1,0
Behênico	Saturado	22:0	-	< 0,7
Lignoléico	Saturado	24:0	-	< 0,4

As estruturas moleculares dos ácidos graxos de maior fração mássica no óleo de soja são apresentadas na figura 2.

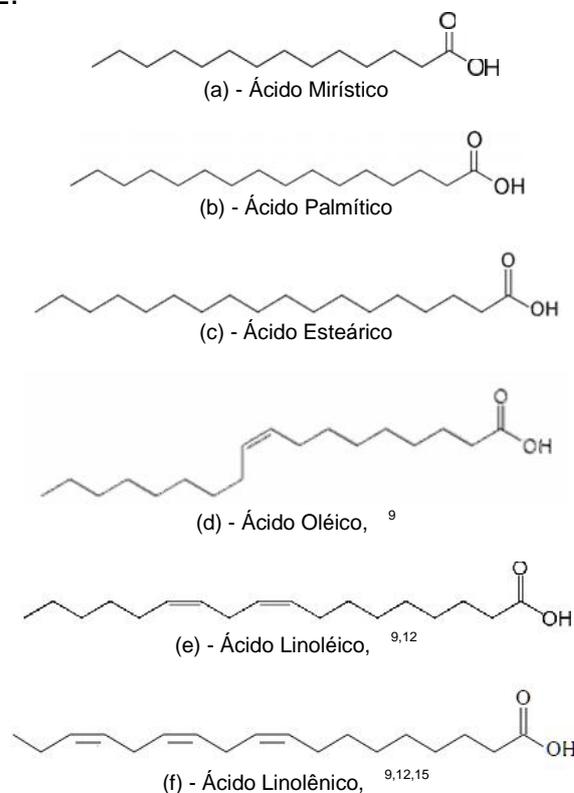


Figura 2 – Principais Ácidos Graxos do Óleo de Soja

O óleo diesel é o derivado de petróleo constituído de hidrocarbonetos de 10 a 25 átomos de carbono, de faixa de destilação entre 150°C e 400°C, com componentes parafínicos, aromáticos, naftênicos e oleofínicos. A composição média volumétrica do diesel efluente da destiladora nas refinarias é de 30% de parafínicos, 45% de naftênicos e 20% de aromáticos, sendo desses 10% monoaromáticos, 12% diaromáticos, 5% triaromáticos e 0,8% poliaromáticos. Há ainda compostos de nitrogênio, de enxofre e de oxigênio (FARAH, 2012).

Os hidrocarbonetos parafínicos são caracterizados por cadeias carbônicas lineares, sem insaturações, apresentando ou não ramificações. Obedecem a fórmula geral C_nH_{2n+2} . Os hidrocarbonetos aromáticos apresentam invariavelmente anéis aromáticos, e não têm uma fórmula



geral definida. Os hidrocarbonetos naftênicos são caracterizados pela presença de estruturas carbônicas cíclicas, sem duplas ligações, e são representados pela fórmula geral C_nH_{2n} . Os hidrocarbonetos oleofínicos são estruturas carbônicas com no mínimo uma dupla ligação, e obedecem a fórmula geral C_nH_{2n} (McMURRY, 2005).

Fruto da remoção dos compostos sulfurosos do diesel para produção dos combustíveis de baixo teor de enxofre, como S50 e S10, há um decréscimo na lubricidade dos mesmos. Para que isso seja corrigido, teores mínimos de biodiesel de 1 a 2% em volume devem ser adicionados (KNOTHE, et. al., 2011). A resolução da ANP RANP 14, de 2012, prevê que a partir de janeiro de 2010, o diesel brasileiro tipo B deve apresentar um teor volumétrico mínimo de biodiesel de 5 %.

O ensaio de destilação ASTM D1160 visa determinar a pressões reduzidas o comportamento dos pontos de bolha para derivados do petróleo e para biodiesel que podem ser parcial ou totalmente evaporados numa temperatura máxima de 400°C. Nele, a amostra é destilada num vácuo entre 0,13 e 6,7 kPa sob condições que simulam o prato teórico de uma destiladora. Sob tais condições, são obtidos dados para o projeto de uma coluna retificadora, como ponto inicial de bolha, curva de destilação, ponto final de bolha e pressão de vácuo (ASTM, 2013).

A curva de destilação é um perfil das temperaturas de bolha de um fluido, ou mistura de fluidos, em função do volume destilado. Tem aplicabilidade na obtenção de propriedades de qualquer mistura de fluidos complexa (LOVSTEAD, et. al., 2010). A partir da análise dos intervalos de ponto de bolha, pode-se inferir qualitativamente os tipos de ésteres, comparando-os com os valores de ponto de ebulição dos ésteres puros, fornecidos pela literatura (PORTO, et. al., 2009). Do ponto de vista da

termodinâmica de soluções, esta comparação pode ser efetuada apenas como uma estimativa, pois ela apresenta um erro associado, fruto do fato que as propriedades de substâncias puras e misturas são distintas (SMITH, et. al., 2007).

2. METODOLOGIA

Efetou-se a destilação das amostras de biodiesel e diesel segundo a metodologia padrão ASTM D1160, com recuperação volumétrica de 90%.

A esquematização técnica do equipamento de destilação, está representada na figura 3.

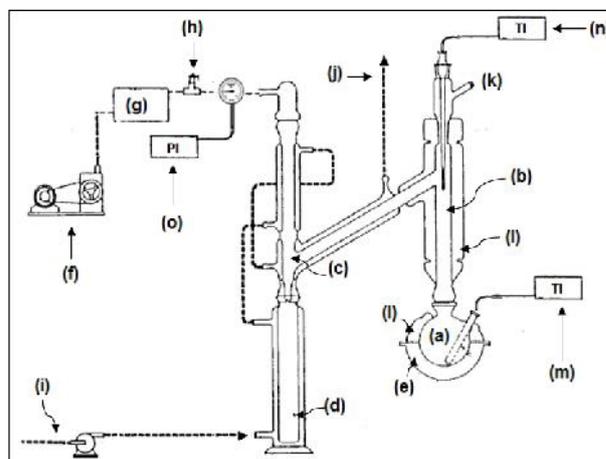


Figura 3 – Arranjo do Destilador ASTM D1160 Manual.

(a) Balão de Destilação; (b) Coluna de Evaporação; (c) Condensador; (d) Proveta Graduada Refrigerada; (e) Manta de Aquecimento; (f) Bomba de Vácuo; (g) Regulador de Pressão; (h) Válvula de Repressurização; (i) Alimentação de Água de Refrigeração; (j) Saída de Água de Refrigeração; (k) Terminal Fechado; (l) Isolamento Térmico; (m) Termômetro do Refeedor; (n) Termômetro de Topo; (o) Manômetro de Bourdon.

2.1. Destilação a Vácuo Manual

Iniciou-se com a adição de 200 ml da amostra e pérolas de porcelana ao balão de destilação, efetuou-se as conexões como o indicado na figura 4, acionou-se a bomba de vácuo e o aquecimento da manta térmica até a



visualização de vapor no interior do equipamento, ou gotas de condensado na parede do bulbo do termômetro do topo. Diminui-se a taxa de aquecimento de forma a coletar os dados de volume destilado na leitura da proveta graduada e de temperatura de bolha no termômetro do balão de destilação de forma mais precisa. Efetuaram-se as leituras de modo a gerar a maior quantidade de pontos possíveis, para que a curva de destilação apresente a melhor consistência experimental.



Figura 4 - Instalação ASTM D1160

Converteu-se as temperaturas de bolha obtidas sob vácuo para a atmosfera padrão, de 760 mmHg, e perfilou-se em função do volume destilado.

Estudou-se a qualidade dos dados experimentais repetindo o ensaio com a mesma amostra nas mesmas condições e no mesmo equipamento em dias distintos, produzindo um comparativo entre as curvas de destilação obtidas. De forma a organizar os dados, perfilou-se a comparação entre os pontos de bolha corrigidos dos ensaios em intervalos fixos de 1 ml.

2.2. Modelagem Matemática

Maxwell e Bonnell, em 1955, desenvolveram para a *Esso Research and Engineering* cartas para que as respostas de temperaturas em pressões de vácuo fossem transformadas para outra pressão. Em 1994, *Atgelt* e

Buduszynski as traduziram em equações como as expressas por [1] e [2].

$$AET = \frac{748,1.A}{\frac{1}{T_v} + 0,3861.A - 0,00051606} \quad [1]$$

$$A = \frac{5,9992 - 0,977447.\log P}{2663,129 - 95,76.\log P} \quad [2]$$

Onde P é a pressão absoluta em que o ensaio foi efetuado, em mmHg, T_v é a temperatura do ensaio em K, e AET (*atmospheric equivalent temperature*) é a temperatura de bolha corrigida para a atmosfera padrão, em K (ASTM, 2013).

2.3. Expressão dos Resultados

De forma padronizada, o resultado deve ser expresso em tabelas em que a primeira coluna representa a porcentagem volumétrica recuperada, e as demais os pontos de bolha corrigidos para a pressão padrão, das diferentes amostras. Os resultados também podem ser apresentados em forma gráfica, como curva de destilação (ASTM, 2013).

Efetuuou-se os ensaios para as amostras apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Amostras Analisadas

Amostra	Combustível
1	Biodiesel Metílico Comercial
2	Biodiesel Etílico de Soja
3	Biodiesel Etílico de Óleo de Fritura Reutilizado
4	Diesel S10 Comercial

A amostra 1 fora obtida de uma fábrica de biodiesel do interior do Paraná, que promove a transesterificação de óleo de soja com álcool metílico. As amostras 2 e 3 foram obtidas da Unidade Piloto de Produção de Biodiesel da PUCPR, que realiza a transesterificação dos óleos de soja degomado e de descarte da fritura de alimentos, com álcool etílico. A amostra 4 fora obtida em um posto de combustível na cidade de Curitiba.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Validação do Ensaio

Para um combustível de produção semelhante a da amostra 3, efetuou-se o ensaio de destilação a vácuo duas vezes com recuperação volumétrica de 80%. O resultado está expresso na figura 5.

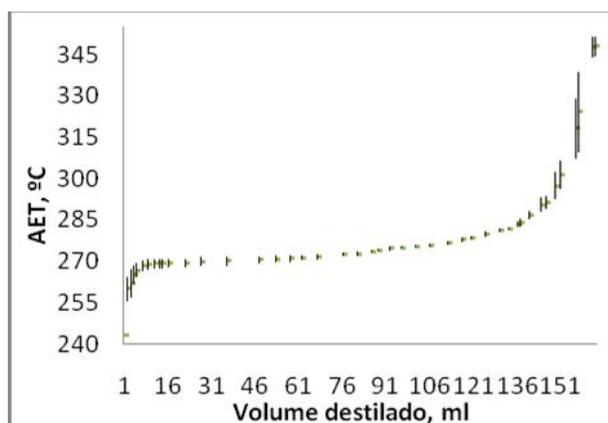


Figura 5 – Comparativo entre ensaios

A diferença média global entre os pontos de bolha corrigidos é de 2,2°C. Os maiores contribuintes para tal são os intervalos de 0 a 10 ml e de 135 a 160 ml. Esta diferença é fruto da condensação de vapor na parede da coluna de destilação dada a perda de calor para o meio ambiente, que ocorre de forma aleatória, de acordo com o comportamento fluidodinâmico do combustível no balão de destilação.

Em vista de tal fenômeno, estudou-se a influência do isolamento térmico em termos de diferença de temperaturas entre o balão de destilação e do topo da coluna. Comparou-se as diferenças de temperatura mínimas e médias obtidas entre os ensaios realizados com e sem isolamento térmico para duas das amostras citadas na tabela 3. Os resultados foram expressos na tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo entre diferença de temperaturas

Amostra	Isolamento	T Mínima	T Média
1	Presente	8,0°C	10,0°C
2	Ausente	10,0°C	48,5°C

Da comparação das diferenças de temperaturas mínimas para as amostras, obtiveram-se valores relativamente baixos e semelhantes, concluindo que este parâmetro é praticamente independente do uso do isolamento térmico. No entanto, fica provado que o uso do isolamento é imprescindível pela análise da diferença média entre as temperaturas, pois a análise com uso do isolamento levou a uma diferença de 10°C, pequena, e o não uso do mesmo indicou a uma diferença muito maior, igual a 48,5°C. Para o ensaio o isolamento térmico utilizado foi de silicato de cálcio.

3.2. Curvas de Destilação

A resolução 255 da ANP, de 2003, determina que a temperatura máxima de destilação de 90% (T90) do volume de biodiesel destilado não pode exceder 360°C, e deve ser efetuada de acordo com a norma ASTM D1160.

A tabela 5 expressa os resultados de pontos de bolha corrigidos (PB) para as quatro amostras em intervalos de 10% do volume destilado. As três amostras de biodiesel se adequaram a esta resolução, todas com temperaturas T90 abaixo de 300°C.

Tabela 5 - Pontos de Bolha Corrigidos, em °C

Percentual Recuperado	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
0% - PB	259,6	268,2	256,9	172,2
10% - T10	260,7	273,7	263,1	197,4
20% - T20	261,8	274,0	264,2	217,1
30% - T30	262,9	274,4	264,6	230,2
40% - T40	263,4	274,9	264,9	241,8
50% - T50	264,0	275,4	266,6	253,4
60% - T60	265,0	276,0	267,6	265,0
70% - T70	266,3	276,8	269,5	278,0
80% - T80	268,2	279,1	272,6	289,9
90% - T90	275,9	291,9	297,9*	305,3**

Os ensaios em que não se recuperou 90% do volume recuperaram-se 85%, e efetuou-se a extrapolação, com coeficientes: * R² = 99,9%, ** R² = 98,9%.



A resolução 50 da ANP, de 2013, determina que para o diesel S10, o ponto de bolha corrigido para T10 deve ser inferior a 180°C, para T50, deve estar entre 245 e 295°C e para T95 não deve exceder 370°C. A amostra 4 não está adequada à T10, e se adéqua à T50. O ponto de bolha para T95 não pode ser determinado dado que o destilador é manual é não seguro extrapolar o volume de 90% do volume recuperado.

O comparativo entre as curvas de destilação das quatro amostras está representado na figura 6.

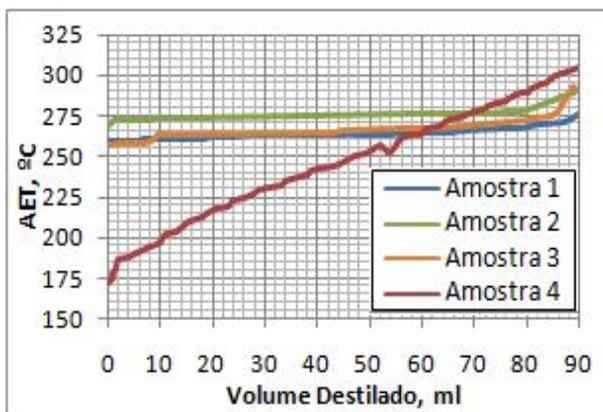


Figura 6 - Curvas de Destilação

O processo de destilação a vácuo da amostra 1 ocorreu sob pressão absoluta de 141 mmHg, em um ambiente a 22°C, e a sua curva de destilação está representada pela figura 7. Ela demonstra que o combustível apresenta alto teor de ésteres metílicos, pois a diferença entre os pontos de bolha no início e T90 é de 16,3°C, característico de uma série de ésteres de volatilidade ligeiramente crescente.

Do comparativo com os pontos de ebulição normais dos ésteres metílicos na tabela 1, inferiu-se a presença qualitativa de éster metílico de ácido láurico, de PE 260°C, de éster metílico de ácido linoleico com PE 275°C e de éster metílico de ácido mirístico, de PE 295°C. Comparando com a composição média do óleo de soja da tabela 2, o ácido láurico se apresenta em

teores inferiores a 0,1% dos ácidos saturados, logo seus ésteres metílicos estão em baixa concentração. O ácido linoléico é o ácido graxo de maior composição mássica no óleo de soja, logo apresenta a maior conversão para éster etílico, se apresentando concentração no produto. A exemplo do ácido láurico, o ácido mirístico também ocorre em baixa concentração no produto, dado que sua fração mássica no óleo de soja é inferior a 0,5% em relação aos ácidos saturados.

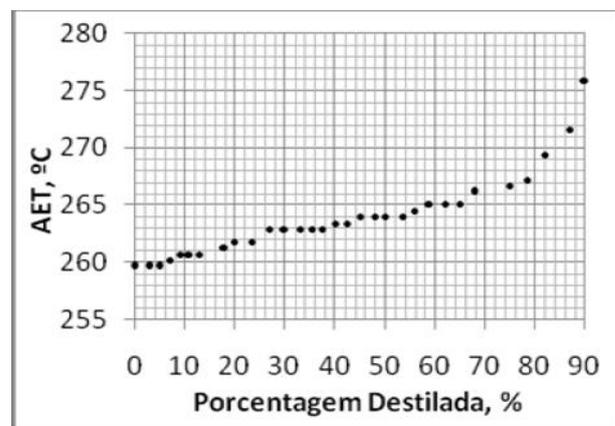


Figura 7 - Curva de Destilação da Amostra 1

O processo de destilação a vácuo da amostra 2 ocorreu sob pressão absoluta de 141 mmHg, em um ambiente a 22°C, e resultou no perfil da figura 8. Trata-se de um combustível de menor pureza em ésteres, comparado ao comercial, dado que do início à 79% do processo, houve aumento pouco acentuado nos pontos de bolha, igual a 9°C, característico de ésteres etílicos de volatilidades próximas, e a partir de 79%, ocorre um aumento acentuado na temperatura de bolha, que indica a presença de contaminantes de menor volatilidade, como ácidos graxos livres, glicerídeos, sabões ou glicerina.

De modo a determinar qualitativamente tais ésteres, compara-se com a tabela 1, de pontos de ebulição dos ésteres etílicos. Constatou-se ésteres de ácido mirístico e linoleico, com pontos de ebulição de 295°C e 270-5°C, respectivamente. Segundo a tabela 2, de



ácidos graxos de óleo de soja, éster mirístico está em menor quantidade, por sua porcentagem dentre os saturados é menor do que 0,5%. Logo, a composição majoritária do combustível é de éster de ácido linoleico. Os demais apresentam pontos normais de ebulição muito inferiores aos pontos de bolha corrigidos, e portanto estão em baixa concentração.

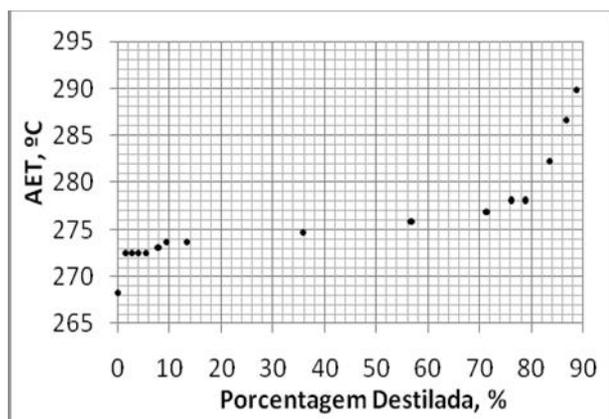


Figura 8 - Curva de Destilação da Amostra 2

Para aumentar o teor de ésteres no combustível, pode-se remover os sabões e a glicerina com uma extração líquido líquido por água e com remoção da umidade residual por sulfato de sódio anidro, subproduto da própria planta.

A destilação da amostra 3 ocorreu sob pressão absoluta de 145 mmHg e numa temperatura ambiente de 23°C. Seu perfil está representado na figura 9.

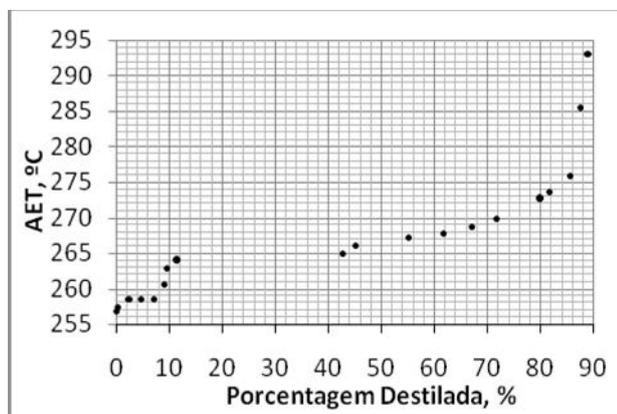
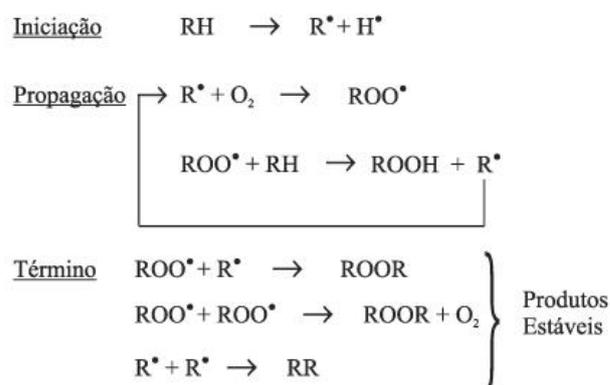


Figura 9 - Curva de Destilação da Amostra 3

Nesta amostra, o óleo de soja sofreu alterações químicas e estruturais devido aos processos oxidativos resultantes do aquecimento e do contato com umidade dos alimentos e metais. Isto se deve à presença de instaurações na cadeia do ácido graxo, que possibilita um alto nível de reatividade com o oxigênio, gerando peróxidos, aldeídos e moléculas oxigenadas. Seu mecanismo geral está representado na figura 10 (RAMALHO, 2006).



onde: RH - Ácido graxo insaturado; R* - Radical livre; ROO* - Radical peróxido e ROOH - Hidroperóxido

Figura 10 - Oxidação Lipídica

Fruto destas reações há uma redução no teor de insaturações e um aumento na concentração impurezas para o combustível. Comparando-se com o biodiesel de óleo de soja degomado, estas impurezas impactaram na curva de destilação, como pode ser verificado no intervalo de 0 a 10% recuperados, com a presença de moléculas mais voláteis, e a partir de 80%, com moléculas menos voláteis, que podem ser também ácidos graxos não reagidos, glicerídeos e sabões. De acordo com a tabela 1, o intervalo dos primeiros 10% do volume destilados representa ácidos graxos de cadeias carbônicas menores, como o cáprico, de PE 243-5°C. Do intervalo de 10% a 80%, os ésteres etílicos são de ácido linoléico, de PE 270-5°C.

O processo de destilação da amostra 4 ocorreu sob pressão absoluta



de 145 mmHg, em um ambiente a 24°C, e seu perfil de pontos de bolha está na figura 11. Este perfil está de acordo com o esperado para um combustível diesel, pois, por definição, o este é composto por hidrocarbonetos de volatilidade decrescente.

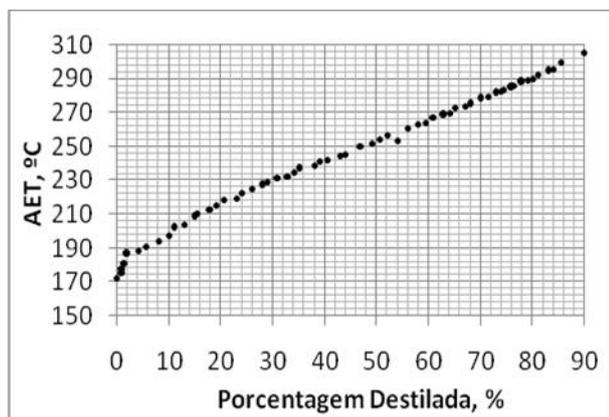


Figura 11 - Curva de Destilação da Amostra 4

Comparou-se os resultados de temperatura de bolha corrigidos com Haas et. al., que efetuou o ensaio de obtenção das curvas de destilação pela metodologia proposta pela ASTM D86, cujo processo ocorre à pressão atmosférica, e a correção de temperaturas para a pressão normal é efetuada segundo as correlações de Sydney & Young. O resultado está expresso na tabela 6.

Tabela 6 – Comparativo AET

Percentual Recuperado	S10	Hass
50% - T50	253,4	259,4
90% - T90	305,3	306,5

Segundo o manual técnico do diesel S10 da Petrobras Distribuidora, a coloração dos combustíveis diesel classe A, de teores de enxofre S10, S50 devem variar entre incolor e o amarelado. Observou-se que com a destilação, que a coloração amarelada, característica do diesel S10, foi alterada para incolor. Isto pode ser observado na figura 12.

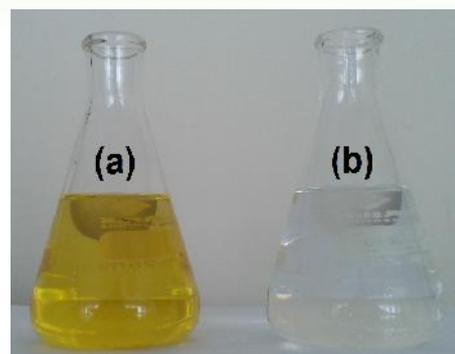


Figura 12 – (a) Diesel S10 Comercial, (b) Diesel S10 Destilado

4. CONCLUSÕES

Do comparativo entre os perfis obtidos nas análises da mesma amostra de biodiesel, sob mesmas condições em dias distintos, foi obtida uma diferença média de 2,2°C entre pontos de bolha. Tal diferença se mostra aceitável, dado que a comparação entre os pontos de bolha com as temperaturas de ebulição das espécies puras não é possível, por efeitos de termodinâmica de soluções.

As curvas de destilação são aplicáveis na distinção entre os ésteres etílicos, e os materiais mais e menos voláteis, fornecendo uma boa idéia da conversão atingida pelo processo.

Os perfis obtidos além da curva de destilação possibilitam uma visualização mais clara de como ocorreu o processo de destilação, e são de substancial importância na comparação entre os processos de destilação para os diferentes combustíveis obtidos na mesma unidade de produção, desde que seja feito com o mesmo equipamento e sob as mesmas condições de ensaio.

Embora não tenha sido possível atingir um vácuo de 50 torr, indicado pela ASTM para o projeto de destiladoras industriais foi possível viabilizar o método como análise dos produtos da unidade.

5. AGRADECIMENTOS

Ao professor Moacir Kaminski pelo incentivo e pelo empréstimo do destilador



ASTM D1160, às equipes da Unidade de Produção de Biodiesel da PUCPR.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. de F. **Caracterização de Biodiesel Através da Separação dos Constituintes por Cromatografia Líquida**. 2011, 144p. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ. Rio de Janeiro - RJ.

ASTM Standard D 1160, 2013. **Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Reduced Pressure**. ASTM International, West Conshohocken, PA.

FARAH, M. A. **Petróleo e Seus Derivados: Definição, Constituição, Aplicação, Especificações e Características de Qualidade**. LTC, 2012.

FONSECA, H.; GUTIERREZ, L. E. **Composição em Ácidos Graxos de Óleos Vegetais e Gorduras Animais**. Anais da E. S. A., Volume XXXI, 485-490, 1974.

HAAS, J. M.; SCOTT, K. M.; ALLEMAN, T. L.; McCORMIC, R. L. **Engine Performance of Biodiesel Fuel Prepared from Soybean Soapstock: A High Quality Renewable Fuel Produced from a Waste Feedstock** Energy & Fuels, v. 15, p. 1207-1212, 2001.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. G.; KRAHL, J. RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. Blucher, 2011.

LOVESTREAD, M. T.; WINDOM, B. C.; BRUNO, T. J. **Investigating the Unique Properties of Cuphea-Derived Biodiesel Fuel with the Advanced Distillation**

Curve Method. Energy & Fuels, v. 26, p. 3665-3675, 2010.

McMURRY, J. **Química orgânica**. Vol.1, Sengae Learning, 2005.

PORTO, T. T.; BARROS, A. A. C. **Estudo da Viabilidade da Produção de Biocombustíveis Leves a Partir do Biodiesel: Análise Experimental e Numérica**. Dynamis Revista Tecnológica, v.15, 7-11, 2009.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. **Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos**. Química Nova, v.29, 750-760, 2006.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. LTC, 2007.

Manual Técnico Diesel S10: Manuseio, Armazenamento e Abastecimento. Disponível em:
<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/bb f8ea004de4797c8e8adf73cb9b3dc7/manu al-tecnico-diesel-s10.pdf?MOD=AJPERES>
Acessado em 27/01/2015.