

## Síntese e Caracterização de Biodiesel de Sebo Bovino e de sua Mistura B10

Antônio Alex de L. Silva<sup>a,\*</sup>, Anne G. Dias Santos<sup>a</sup>, Luiz Di Souza<sup>a</sup>, Vinicius P. da Silva Caldeira<sup>a</sup>, Geraldo E. Luz Junior<sup>b</sup>, Antônio S. Araújo<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Depto de Química, 59610-210, Mossoró, RN, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade Estadual do Piauí, Depto de Química, 64002-150, Teresina, PI, Brasil.

<sup>c</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Depto de Química, 59078-970, Natal, RN, Brasil.

Article history: Received: 17 December 2014; revised: 24 February 2015; accepted: 17 March 2015. Available online: 22 March 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v7i1.680>

**Abstract:** Biodiesel has become an alternative to mineral diesel; it already has been in 7% biodiesel to diesel. The intention of the Brazilian government to increase the biodiesel content in the mixture to 10% which will promote an increase in demand for raw materials for the production of biodiesel. Among them is the beef tallow which is presented as one of the cheapest raw materials among the available ones. Associated with this increase in production has been the need to improve the processes of synthesis and analyze their properties as oxidative stability (OS) in mixtures with mineral diesel. Based on this, this study aimed to analyze the physicochemical properties and oxidative stability tallow biodiesel B10 and its beef mixture. In the present work, beef tallow biodiesel was synthesized through methylic rout and was mixture to mineral diesel type B (10 wt %) without anything additives. Physic-chemical properties of biodiesel samples and that mixture were determinate, indicating that both samples are agreement with Brazilian Specifications, and the mixture has showed around 10% less sulfur than diesel. Furthermore, oxidative stability of beef tallow biodiesel is higher than at stipulated in norm.

**Keywords:** beef tallow biodiesel; B10 blend; oxidative stability; physic-chemical properties; thermal stability

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de combustíveis alternativos a partir de recursos renováveis se tornou uma atividade corrente nos centros de pesquisa em todos os países em consequência das mudanças climáticas e da inclinação dos países para diminuir seus combustíveis da dependência de petróleo [1, 2]. Entre eles, o Brasil tem se destacado, principalmente com etanol derivado de cana-de-açúcar e do biodiesel obtido por transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais com metanol ou etanol [3-5]. Este último biocombustível recebeu uma considerável atenção devido a sua grande importância para o desenvolvimento econômico do Brasil, onde a maioria da carga é transportada por caminhões movidos a diesel. Economicamente viável e ecologicamente correto, o biodiesel tornou-se uma alternativa ao diesel mineral, é já vinha sendo utilizado no Brasil com teor de 5% (B5) [6-8]. Recentemente esse valor aumentou pra 7% de biodiesel adicionado ao diesel. A

intenção do governo brasileiro é aumentar o teor de biodiesel na mistura para 10% em peso (B10) em poucos anos, o que vai promover um aumento na demanda de matérias-primas para a produção de biodiesel [9].

Neste contexto, a produção brasileira de biodiesel tem aumentado e, em consequência, matérias-primas alternativas começaram a ser utilizados. Entre elas está o sebo bovino que se apresenta como uma das matérias-primas mais baratas dentre as disponíveis para a produção de biodiesel no Brasil. Enquanto, a mamona custa R\$ 4.100,00 por tonelada, o preço do sebo bovino é da ordem de R\$ 2.000,00 por tonelada [10]. A oferta deste produto no Brasil é estimada em torno de 650 mil toneladas por ano. E com o avanço da produção de carne, o país tem quantidade suficiente para trabalhar com essa matéria-prima [10]. Uma de suas vantagens são suas características químicas, estas ao contrário de algumas oleaginosas, possuem em sua composição maior quantidade de ácidos graxos saturados que causa

\*Corresponding author. E-mail: [alex\\_rodrigues15@hotmail.com](mailto:alex_rodrigues15@hotmail.com)

melhor desenvoltura ao motor quando transformado em Biodiesel [10-12]. Neste sentido, este material graxo tem recebido mais atenção devido a sua disponibilidade e baixo custo. Além disso, o excesso de sebo bovino é incinerado ou descartado em aterros sanitários, causando problemas ambientais, sendo que seu uso para síntese de biodiesel reduz estes impactos. [13-15].

Associado a estes aumentos na produção de biodiesel a partir de sebo bovino, aumentou a necessidade de melhorar os processos de síntese e de análise das suas propriedades, assim como as propriedades de suas misturas com diesel mineral. Também é necessário analisar a estabilidade oxidativa (OS), do biodiesel e do sebo. É muito importante ter informações sobre esta propriedade do biodiesel para avaliar a sua estabilidade durante o seu armazenamento, transporte e combustão, bem como os produtos residuais resultantes de oxidação durante o armazenamento. Estes são por ex. ácidos graxos e aldeídos que podem causar problemas ao motor, tais como: entupimento do filtro, do injetor, formação de coque e a corrosão das partes metálicas [16-18]. O método padrão para a determinação da estabilidade oxidativa (Período de Indução) é o Rancimat, onde óleos e gorduras são envelhecidos por decomposição térmica e os produtos formados pela decomposição são arrastados por um fluxo de ar dentro de uma célula de medição abastecida por água destilada. O tempo de indução é determinado pela alteração da condutividade que estes materiais causam na água. Porém muitos pesquisadores têm procurado técnicas mais rápidas e eficientes para determinação do período de indução. Atualmente, pesquisas vêm sendo realizadas nos estudos de óleos, lubrificantes e biodiesel, pelo método de Calorimetria Exploratória Diferencial sob Pressão (P-DSC).

Apesar de ser um método alternativo o PDSC vem sendo utilizado por vários estudiosos para se medir a estabilidade oxidativa das matérias primas e respectivos biodiesel, sendo que os resultados encontrados, são satisfatórios quando comparados com o método padrão Rancimat [19-20]. Com base nisso, este trabalho teve como objetivo analisar as propriedades físico-químicas e estabilidades oxidativas do biodiesel de sebo bovino e sua mistura B10 com diesel de petróleo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

O sebo bovino utilizado na produção de biodiesel foi adquirido da Campestre Ind. & Com. de Óleos Vegetais LTDA. O metanol e o hidróxido de potássio, utilizados no processo de transesterificação, foram de grau comercial e adquiridos no mercado local, enquanto o diesel de petróleo, sem aditivos utilizados na mistura foi obtido da PETROBRAS.

### 2.2. Reação de transesterificação

Sebo bovino foi submetido a transesterificação através da rota metálica e a reação foi realizada num reator EUROSTAR da IKA LABORTECHNIK. Para isso, 1000 g de sebo de bovino, previamente fundido, foi colocado no reator à temperatura ambiente. Em seguida dissolveu-se KOH (2% em peso, relação ao sebo bovino) em uma quantidade de metanol equivalente a razão molar adotada para a reação que foi de 1:10 de óleo/álcool.

Os reagentes foram agitados a temperatura ambiente durante 3 horas a 400 rpm e em seguida, a mistura reacional foi passada para um funil de decantação e mantida em repouso durante 24 horas para promover a separação por gravidade entre o glicerol e os ésteres metílicos. Após, o glicerol foi separado do éster metílico, e posteriormente, lavado com água quente, até total eliminação do catalisador, processo que foi acompanhado com a adição de uma solução de fenolfetaleína à água proveniente da lavagem, considerando como finalizado no momento em que a cor rosa desaparece. Após a separação da fase aquosa em rotavapor, o biodiesel foi seco em estufa a 100 ° C durante 2 horas para eliminação de água e metanol residuais. O biodiesel assim obtido foi denominado B100.

### 2.3. Mistura com diesel

A mistura do biodiesel de sebo bovino ao diesel foi obtida adicionando 10% em peso dos ésteres metílicos ao diesel. Vale salientar que o diesel e o biodiesel não continham quaisquer aditivos. Após preparada, a mistura foi denominada B10, sendo que a letra B, é referente ao biodiesel e o 10 é referente a % de biodiesel adicionada ao diesel.

### 2.4. Análises do Biodiesel e das misturas

#### 2.4.1. Propriedades físico-químicas

O Sebo, o Biodiesel (B100) e a mistura (B10) foram analisados de acordo com as normas da

Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como indicado pela Resolução n° 7 [21] da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Brasil (ANP).

#### 2.4.2. Análises de cromatografia gasosa.

Amostras de biodiesel (B100) foram analisados por cromatografia em fase gasosa (CG), a fim de determinar a conversão de triacilglicerídeos em ésteres metílicos de ácidos graxos correspondentes, após a reação de transesterificação, de acordo com a norma EN 14103 [22]. A cromatografia gasosa também foi empregada para determinar o teor de metanol nas amostras de biodiesel, conforme o método da NBR 15343 [23]. As Análises de CG do biodiesel foram realizadas num cromatógrafo de gás Thermo Rastreo GC-FID com detector FID a 250 °C. Para a análise do teor de ésteres foi utilizada uma coluna capilar de polietileno glicol TR-WAX (Thermo) com uma taxa de fluxo de 1 ml.min<sup>-1</sup> de hélio como gás portador. Para determinar o teor de metanol foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida, com fase estacionária de 100% de metil silicone com dimensões de 30 m x 0,32 milímetros x 3 m, com o seguinte programa de forno, a temperatura inicial de 50 °C durante 6 minutos e taxa de aquecimento de 20 °C.min<sup>-1</sup> até 260 °C por 20 min.

### 2.5 Estabilidade Oxidativa

Estabilidade oxidativa da B100 foi obtido pelo método Rancimat de acordo com a norma EN-14214 [22]. O comportamento oxidativo do B100, foi analisada, a 110, 120, 130 e 140 °C e os valores obtidos plotados contra a temperatura, obtendo-se do grafico a 25 e 40 °C o valor de oxidação correspondentes a essas temperaturas.

### 2.6 Estabilidade Térmica

#### 2.6.1. Analise Termogravimétrica (TG/DTG)

A análise termogravimétrica (TG/DTG) foi realizada com intuito de estudar a estabilidade térmica e o processo de vaporização e decomposição do sebo bovino, biodiesel e mistura B10.

As curvas termogravimétricas foram obtidas por meio de uma termobalança, marca Mettler Toledo, modelo TGA/SDTA- 851, com variação de temperatura de 30 a 600 °C e razão de aquecimento 10

°C/min, sob atmosfera inerte de Hélio, com vazão de 25 mL/min. Para realizar a análise foi utilizado cadinho de alumina de 900 µL e massa da amostra de aproximadamente 75 mg.

#### 2.6.2. Calorimetria Exploratória Diferencial sob Pressão (P-DSC)

A análise de P-DSC foi realizada com intuito de estudar a estabilidade oxidativa a uma determinada temperatura e pressão. Através desta análise pode ser determinado o tempo de indução oxidativa (OIT).

As curvas de Calorimetria Exploratória Diferencial sob Pressão (P-DSC) foram obtidas em um calorímetro de marca *TA Instruments*, modelo MDSC 2920 acoplado com célula, *DSC Pressure Cell*, sob pressão 1400 KPa, em atmosfera de oxigênio. A análise foi realizada com um cadinho de alumina aberto e a massa da amostra foi de aproximadamente 10 mg.

As análises com P-DSC foram realizadas por dois métodos: dinâmico e isotérmico. As curvas obtidas através do método dinâmico foram realizadas utilizando uma rampa de aquecimento de 10 °C/min até 600 °C. No método isotérmico o teste foi iniciado a 50 °C e em seguida submetido a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min até 110 °C, onde foi mantido em temperatura constante até a total oxidação da amostra.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. cromatografia em fase gasosa

A composição de ésteres metílicos obtidos dos ácidos graxos de sebo por transesterificação e determinada por cromatografia gasosa, é mostrada na Tabela 1.

Na Tabela 1 observa-se que 97,8% de ácidos graxos do sebo bovino foram convertidos em ésteres metílicos. Esse rendimento de conversão é superior ao limite mínimo (96,5%) estipulado pela regulamentação Stander brasileiro [24]. Além disso, uma elevada concentração de ésteres saturados é observado, o que reflete a composição de sebo, que tem um elevado teor de ácidos estearico e palmítico.

Com a análise de cromatografia em fase gasosa, também foi observado que não há qualquer metanol residual no biodiesel de sebo bovino, o que indica que este foi removido pelo processo de lavagem e purificação ([Ver cromatograma](#)

[disponibilizado no material suplementar](#)).

disponibilizado no material suplementar).

**Tabela 1.** Composição qualitativa e quantitativa dos ésteres metílicos dos ácidos graxos no biodiesel sebo bovino.

Éster metílico	Biodiesel de Sebo bovino
Mirístico	2.11
Palmitico	25.35
Palmitoléico	2.06
Estearico	29.10
Oleico	28.15
Linoleico	1.13
Outros	12.1
<b>Total</b>	<b>97.80</b>

Com a análise de cromatografia em fase gasosa, também foi observado que não há qualquer metanol residual no biodiesel de sebo bovino, o que indica que este foi removido pelo processo de lavagem e purificação (Ver cromatograma

### 3.2. Propriedades físico-químicas

Na Tabela 2 são apresentadas as propriedades físico-químicas do Diesel, biodiesel (B100) e de sua mistura com o diesel (B10), além das propriedades físico-químicas do diesel tipo B.

As viscosidades das materias primas para produção de biodiesel têm valores altos, o que era esperado, uma vez que dispõem de grandes cadeias e elevado peso molecular [25]. O valor obtido para sebo bovino, nesta propriedade, foi favorável para a reação de transesterificação como mostra a Tabela 2. Esta propriedade é de grande importância pelo fato de servir como indicativo do tempo de síntese, assim, quanto menor a viscosidade, menor o tempo de reação.

**Tabela 2.** Propriedades físico-químicas do sebo bovino, Diesel, biodiesel (B100) e mistura (B10).

Propriedades	Sebo bovino	Diesel	B100	B10	Especificações	Normas
Visc. Cin. 40 °C (mm <sup>2</sup> /g)	5,67	2,7	4,9	2,9	2,5 – 5,0	ASTM D445
Densidade 20 °C (Kg/m <sup>3</sup> )	875,7	825,8	870,3	829,8	820 - 880	ASTM D4052
Temperatura de Destilação (°C)	50%	-	270,4	-	283,9	245 - 310
	85%	-	352,0	-	349,2	370 (max)
Índice de Cetano	-	52,1	-	53,4	≥ 45	ASTM D4737
Ponto de Fulgor (°C)	303,0	44	187	45	38 (min)	NBR 14598
Teor de enxofre (mg/Kg)	0,9	1089	1,4	962	1800 (max)	ASTM D2622

O valor obtido para densidade e ponto de fulgor confirmam o valor de viscosidade, isto é, quanto maior for o peso molecular médio, menor será a densidade e maior a energia necessária para produzir o Fulgor. Vale salientar que valores muito elevados de densidade implicam em maior dificuldade dos motores realizarem a queima dos combustíveis, fazendo que essa queima ocorra em temperaturas mais elevadas, o que pode refletir em um maior desgaste do motor.

Para enxofre total no sebo, o valor encontra-se dentro dos limites exigidos. O que é de grande importância, uma vez que altos níveis causa problemas de corrosão nos motores, bem como, problemas ambientais.

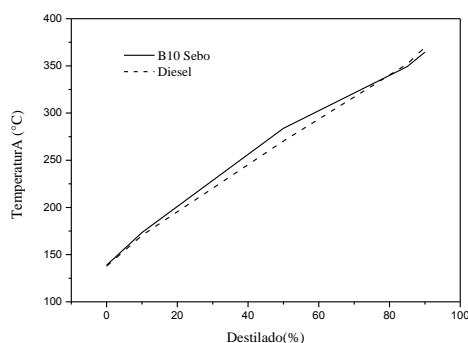
De acordo com a Tabela 2, as propriedades

físico-químicas B100 estão acordo com as especificações do Brasil, embora apresente elevada viscosidade cinemática e densidade, o que pode ser atribuído ao maior teor de ésteres metílicos saturados no biodiesel de sebo, como mostrado na tabela 1. Cadeias saturadas permitem uma interação eficaz entre si, o que promove maior densidade, viscosidade e ponto de fulgor, quando comparado com os compostos com cadeias insaturadas.

O índice de cetano e ponto de fulgor de B10 são mais elevados quando comparado ao diesel puro, o que indica uma melhor qualidade de combustão e segurança no armazenamento, em relação diesel puro. Os resultados quanto a adição de 10% de biodiesel ao diesel mineral promove uma redução significativa (cerca de 10%) do teor de enxofre deste último,

indicando uma possível redução dos impactos ambientais derivados da combustão do B10.

As Curvas de destilação da mistura B10 e diesel são mostrados na Figura 1.



**Figura 1.** Curvas de destilação da mistura B10 e Diesel Mineral.

Observa-se na Figura 1 que a curva de destilação do B10 mostra temperaturas mais elevadas do que as observadas na curva de destilação diesel na maior parte da faixa de T. Este fato é explicado pela presença dos ésteres metílicos da mistura B10. Derivados do biodiesel de sebo bovino, estes compostos apresentam ponto de ebulição mais elevado que os hidrocarbonetos presentes no diesel mineral.

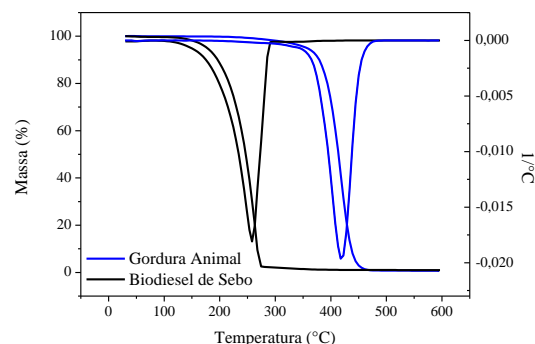
Só no fim do processo de destilação é observado um comportamento oposto ao descrito antes. A partir de 90% de destilação, a curva do diesel mostra temperaturas superiores às observadas para a curva do B10. É possível que a a temperatura ( $\pm 350$  °C), existam apenas hidrocarbonetos aromáticos no diesel, cujo ponto de ebulição é superior aos ésteres metílicos do B10. Este comportamento pode indicar uma menor formação de compostos particulados durante a combustão da mistura B10 em relação ao óleo diesel, contribuindo para a redução de impactos ambientais derivados da combustão deste combustível

fóssil.

### 3.3. Estabilidade termica e oxidativa

#### 3.3.1 Análise Termogravimétrica

As Curvas de Análise termogravimétrica da estabilidade termica, tanto para o sebo bovino, quanto para o biodiesel (B100) são mostradas na Figura 2.



**Figura 2.** Análise termogravimétrica (TG/DTG) do sebo e seu biodiesel.

Pode-se observar que a curva referente ao sebo bovino, apresenta uma única perda de massa. Essa única etapa de decomposição pode ser atribuída à volatilização e/ou decomposição dos triglicerídeos, presentes na gordura bovina. O biodiesel também apresentou uma única perda de massa, a qual é referente a volatilização, dos ésteres metílicos formados na reação de transesterificação. Observa-se que essa volatilização ocorre em temperaturas menores que a do sebo, o que indica que a reação foi bem executada, pois uma diminuição na temperatura de volatilização após reação indica a formação de biodiesel. Conforme a tabela 3, a perda de massa na amostra de biodiesel, foi de 97,6%, essa porcentagem, mostra que conversão dos triglicerídeos e ésteres metílicos foi bastante satisfatória, esses resultados corroboram com os resultados obtidos com CG, e mostram que a conversão está dentro dos padrões exigidos.

**Tabela 3.** Dados termogravimétricos do sebo bovino e Biodiesel (B100)

Amostras	T (°C)	T máx. (°C)	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Sebo Bovino	304-500	422	97,2	2,8
Biodiesel (B100)	120-310	258	97,6	2,4

#### 3.3.2 Análise de calorimetria exploratória diferencial sob pressão (P-DSC)

O ONSET é a temperatura no qual se dá o início do processo de oxidação. De acordo com a

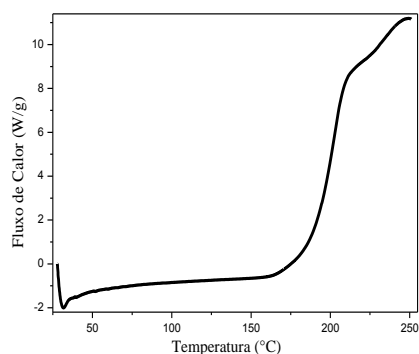


Figura 3 e a Tabela 4, mesmo tendo comportamento semelhante a matéria prima apresenta uma estabilidade oxidativa maior que os seus respectivos biodieseis.

**Tabela 4.** Temperatura ONSET obtida pela análise de P-DSC do sebo bovino e seu respectivo biodiesel.

Amostra	ONSET (°C)
Sebo bovino	179,63
B100 de Sebo	172,92

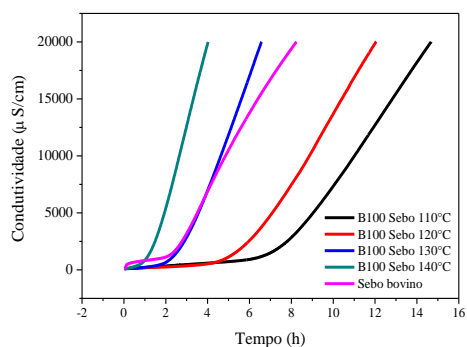
Fato que já era esperado, uma vez que os ésteres metílicos são mais propícios a sofrerem o processo de oxidação [26]. E ao contrário dos ácidos graxos presente na matéria prima não possuem ligação de hidrogênio.



**Figura 3.** Curva de P-DSC representativa para o comportamento do sebo bovino e seu respectivo biodiesel.

### 3.3.3 Rancimat

As curvas obtidas a partir de análises de estabilidade oxidativa de biodiesel de sebo bovino, em diferentes temperaturas são mostrados na figura 4.



**Figura 4.** Curvas Rancimat para o biodiesel de sebo bovino nas temperaturas de 110, 120, 130 e 140 °C.

A estabilidade à oxidação é definida como a resistência à oxidação da amostra. Em todas as curvas observa-se um aumento brusco na condutividade, num tempo específico para cada amostra. Esse aumento brusco está ligado a formação de produtos de oxidação que está relacionada com o tempo necessário para se degradar o biodiesel, e conseqüentemente com o seu tempo máximo de armazenamento [27].

O tempo de indução oxidativa do biodiesel de sebo bovino (B100) para diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 5. Observou-se que o B100 mostrou um tempo de indução superiores ao estabelecido na norma (pelo menos 6,0 h) a 110 °C. O elevado tempo de indução do biodiesel de sebo (7,53 h) pode ser atribuída ao elevada teor de ésteres metílicos derivados de ácidos graxos saturados, como mostrado na Tabela 1. Segundo Bouaid e colaboradores, ésteres saturados mostram alta resistência à oxidação, uma vez que a formação de radicais livres é energeticamente desfavorável [28]. Considerando que os óleos vegetal e gorduras, assim como os ésteres deles derivados são susceptíveis à auto-oxidação, a elevada resistência à oxidação do biodiesel de sebo bovino torna-se relevante quanto a seu uso.

**Tabela 5.** tempo de indução oxidativa do biodiesel de sebo bovino (B100) para diferentes temperaturas.

Amostra	Temperatura (°C)	Tempo de indução (h)
B100	110	7,53
	120	5,33
	130	2,47
	140	1,34

Observa-se na Figura 4 e na Tabela 5 que o aumento da temperatura de oxidação promove uma redução do tempo de indução, tal como esperado. A partir dos valores de tempo de indução para 110, 120, 130 e 140 °C foi obtida, por extrapolação, os valores de tempo de indução de 25 e 40 °C, que são, também, apresentados na Tabela 3. De acordo com os resultados, biodiesel (B100) pode ser armazenamento por 144 dias a 25 °C e 29 dias a 40 °C. Esta informação é bastante importante para o Brasil, devido à grande extensão territorial com conseqüente diferença de temperatura, o que permite que haja uma ampla gama de temperatura média em diferentes regiões brasileiras, nas quais o tempo de

armazenamento do material deve ser diferente. Vale ressaltar que em algumas regiões do Brasil a temperatura média é igual ou superior a 40 °C.

#### 4. CONCLUSÃO

O processos de síntese empregado, promoveu a conversão de ácidos graxos em ésteres metílicos acima do limite mínimo estipulado pelo Regulamento Stander brasileiro. O biodiesel e sua mistura B10 mostraram propriedades físico-químicas de acordo com as especificações do Brasil, e esta última amostra apresentou cerca de 10% menos enxofre do que o diesel e menor formação de material particulado.

Estabilidade oxidativa do biodiesel de sebo de boi é maior do que a estipulada na norma. Uma redução do tempo de indução foi observado com o aumento da temperatura. Em consequência disso, há uma redução considerável no tempo de indução oxidativa quanto a temperatura de armazenamento é alterada de 25 °C a 40 °C, temperatura média de muitas cidades do Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o apoio financeiro do CNPq, FUNPEC e ANP.

#### 6. REFERÊNCIAS E NOTAS

- [1] Syed, A. B.; Raja, K. G.; Jebaraj, S. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **2009**, *13*, 1628. [[CrossRef](#)]
- [2] Demirbas, A. *Energ. Policy* **2007**, *35*, 4661. [[CrossRef](#)]
- [3] Ribeiro N. M.; Pinto, A. C.; Quintella, C. M.; Rocha, G. O.; Teixeira, L. S. G.; Guarieiro, L. L. N.; Rangel, M. C.; Veloso, M. C. C.; Rezende, M. J. C.; Cruz, R. S.; Oliveira, A. M.; Torres, E. A.; Andrade, J. B. *Energ. Fuel*. **2007**, *21*, 2433. [[CrossRef](#)]
- [4] Santos, A. G. D.; Araujo, A. S.; Caldeira, V. P. S.; Fernandes Jr., V. J.; Souza, L. D.; Barros, A. K. *Thermochim. Acta* **2010**, *506*, 57. [[CrossRef](#)]
- [5] Lima, J. R. O.; Silva, R. B.; Moura, E. M.; Moura, C. V. R. *Fuel* **2008**, *87*, 1718. [[CrossRef](#)]
- [6] Sevilay, T.; Hakan, T.; Ahmet, Y. *Energ. Fuel*. **2009**, *23*, 4112. [[CrossRef](#)]
- [7] Singh, S. P.; Singh, D. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **2009**, *13*, 2495.
- [8] Grisel, C.; Ayala, E. *Fuel* **2008**, *87*, 3537. [[CrossRef](#)]
- [9] Brasil. Agência Nacional de Petróleo. Resolution ANP Nº 7, of 13.3.2008 <http://www.anp.gov.br> Acesso em setembro, 2010.
- [10] Moura, K. R. M. Otimização do processo de produção de biodiesel metílico do Sebo bovino aplicando um delineamento composto central Rotacional (dccc) a avaliação da estabilidade térmica. Tese [Doutorado em Química] UFPB, João Pessoa – PB, 2008. [[Link](#)]
- [11] Morais, M. S. A.; Zini, C. A.; Gomes, C. B.; Bortoluzzi, J. H.; Mühlén, C.; Caramão, E. B. *Quim. Nova* **2011**, *34*, 1188. [[CrossRef](#)]
- [12] Santos, A. G. D. Avaliação da Estabilidade Térmica e Oxidativa do Biodiesel de Algodão, Girassol, Dendê e Sebo Bovino [Dissertação de Mestrado]. UFRN, Natal – RN, 2010. [[Link](#)]
- [13] Cengiz, Ö.; Sehmus, A. *Appl. Energ.* **2009**, *86*, 2114. [[CrossRef](#)]
- [14] Teixeira, L. S. G.; Assis, J. C. R.; Mendonça, D. R.; Santos, I. T. V.; Guimarães, P. R. B.; Pontes, L. A. M.; Teixeira, J. S. R. *Fuel Process. Technol.* **2009**, *90*, 1164. [[CrossRef](#)]
- [15] Kyong-Hwan, C.; JinKima, K.-Y. L. *Biomass Bioenerg.* **2009**, *33*, 55.
- [16] Abderrahim, B.; Mercedes, M.; Aracil, J. *Fuel* **2007**, *86*, 2596. [[CrossRef](#)]
- [17] Sarin, A.; Arora, R.; Singh, N. P.; Sarin, R.; Malhotra, R. K. *Energy* **2010**, *35*, 3449. [[CrossRef](#)]
- [18] Sharma, B. K.; Stipanovic, A. J. *Thermochim. Acta* **2003**, *402*, 1. [[CrossRef](#)]
- [19] Conceição, M. M.; Dantas, M. B.; Rosenhaim, R.; Fernandes Jr., V. J.; Santos, I. M. G.; Souza, A. G. J. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2009**, *97*, 643. [[CrossRef](#)]
- [20] Rodrigues, M. G. F.; Souza, A. G.; Santos, I. M. G.; Bicudo, T. C.; Silva, M. C. D.; Sinfrônio, F. S. M.; Vasconcelos, A. F. F. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2009**, *97*, 605. [[CrossRef](#)]
- [21] Brasil. Agência Nacional de Petróleo. Resolution ANP Nº 7, of 13.3.2008. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em março, 2010.
- [22] En Standards, Fat and oil derivatives – Fatty acid methyl esters (FAME). EN 14103, 2003. [[Link](#)]
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas, Biodiesel - NBR 15343, 2008. [[Link](#)]
- [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas, Biodiesel - NBR 15342, 2009. [[Link](#)]
- [25] Alptekin, E.; Canakci, M. *Renew. Energ.* **2008**, *2*, 1.
- [26] Conceição, M. M.; Fernandes Jr., V. J.; Bezerra, A. F.; Silva, M. C. D.; Santos, I. M. G.; Silva, F. C.; Souza, A. G. J. *J. Therm. Anal. Calorim.* **2007**, *87*, 865. [[CrossRef](#)]
- [27] Velasco, J.; Anderen, M. L.; Skibsted, L. H. *Food Chem.* **2004**, *85*, 623. [[CrossRef](#)]
- [28] Bouaid, A.; Martinez, M.; Aracil, J. *Fuel* **2007**, *86*, 2596. [[CrossRef](#)]