



## **Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP**

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

---

# **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO ÓLEO DE MAMONA NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL**

Fagundes, F. P.; Bezerra; J. P.; Garcia, M. A.; Medeiros, A. C. R.; Borges, M. R.; Garcia, R. B.; Costa, M.

Laboratório de Pesquisa em Petróleo – Departamento de Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte –  
Caixa Postal 1662, CEP: 59078-970 – Natal RN.

e-mail – ffagundes2003@yahoo.com.br/martacosta@quimica.ufrn.br

**Resumo** – Substâncias oriundas da biomassa, especialmente o biodiesel, tem chamado bastante atenção, não só pelas propriedades químicas e físicas, mas também pela possibilidade de a partir dele, constituir uma alternativa para se obter um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto. Dentre as diferentes fontes de biomassa, os óleos vegetais constituem um potencial de recurso renovável para a produção de combustíveis, transformando-se em uma alternativa viável comparados ao diesel. Dentre os diversos óleos vegetais, o óleo extraído das sementes de mamona representa uma alternativa promissora, pois é constituído basicamente do ácido ricinoleico que representa aproximadamente 90% da constituição total do óleo. Neste trabalho descrevemos os resultados dos ensaios estruturais, reológicos e termogravimétricos realizados no óleo de mamona em diferentes graus de pureza. A avaliação de parâmetros físico-químicos para determinação do índice de acidez e teor de umidade presentes nos óleos também foi realizada. Além disso, apresentamos resultados parciais do estudo da alcoólise alcalina e enzimática do óleo de mamona com as enzimas Liposyme IM RM e Novosyme 435.

**Palavras-chave** – óleo de mamona, alcoólise, biodiesel.

**Abstract** – Among the countless fuels originated from biomass the biodiesel is receiving great attention from researchers, not only for its chemical and physical properties, but also for the possibility of getting an alternative to obtain a biodegradable fuel and friendly environmental product. Among the different biomass sources, the vegetable oils constitute a resource of renewable potential for the production of fuels, becoming a viable alternative when compared to the diesel. Among the vegetable oils, the extracted oil of the castor oil plant seeds is a promising alternative source because it is constituted mainly of the ricinoleic acid that represents 90% of the total constitution of the oil. In this work, we described the results of the structural characterization, rheological and thermal accomplished in the castor oil plant oil in different degrees of purity. The evaluation of physical-chemical parameters for determination of the index of acidity and tenor of humidity presents in the oils was also accomplished. Besides, we presented partial results of the study of the alkaline and enzymatic alcoholysis of the castor oil plant oil with the enzymes Liposyme IM RM e Novosyme 435.

**Keywords:** Castor oil, alcoholysis, biodiesel.

## 1. Introdução

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Essas fontes são limitadas e com previsão de esgotamento no futuro, portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de suma importância (FERRARI et al., 2005). Os recursos renováveis representam cerca de 20% do suprimento total de energia no mundo, sendo 14% proveniente de biomassa e 6% de fonte hídrica. No Brasil, a proporção da energia total consumida é aproximadamente 16% de origem hídrica e 28% de origem em biomassa, significando que os recursos renováveis suprem algo em torno de 1/2 dos requisitos energéticos do País. Nesse contexto, o progresso tecnológico tem visado buscar alternativas com base na biotecnologia, que possuam uma ampla faixa de aplicação e que sejam economicamente viáveis. Dessa forma, substâncias oriundas da biomassa constituem uma alternativa bastante interessante, principalmente por ser uma fonte renovável, biodegradável e ambientalmente correta.

O uso de óleos vegetais em motores de combustão interna remonta ao início da utilização do próprio motor diesel. Por razões econômicas, devido ao seu maior custo, e a menor disponibilidade frente aos derivados de petróleo, o uso de óleos vegetais como fonte de combustíveis foi completamente abandonado por um determinado tempo. Entretanto, o aumento dos preços do petróleo, iniciado em 1973, gerou uma nova consciência mundial a respeito da produção e consumo de energia, especialmente quando originária de fontes não renováveis, como é o caso dos combustíveis fósseis (KÖRBITZ, 1999).

Foi constatado, porém, que a aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada por algumas propriedades físicas dos mesmos, principalmente, sua alta viscosidade, baixa volatilidade e seu caráter poliinsaturado. Como consequência, o uso de óleo sem modificação química provoca problemas ambientais como resultado da combustão incompleta e causam danos nos motores. Assim, visando reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como diluição, microemulsão, pirólise (craqueamento catalítico) e reação de transesterificação com álcool de cadeia curta (FERRARI et al., 2005; ENCINAR et al., 2002). Entre essas alternativas, a transesterificação tem se apresentado como a melhor opção, visto que o processo é relativamente simples, obtendo-se como produto principal, ésteres etílicos ou metílicos (Biodiesel) cujas propriedades são similares às do óleo diesel (DUNN, 1994).

O biodiesel pode então ser definido como sendo um mono-alquil éster de ácidos graxos derivados de óleos vegetais e gorduras animais (fontes renováveis) e obtido através de um processo de transesterificação, no qual ocorre a transformação de triglicerídeos em moléculas menores de ácidos graxos (Figura 1). Observa-se que a estequiometria da reação requer três (3) mols do álcool utilizado para um (1) mol do triglicerídeo, obtendo-se como produto três (3) mols de ésteres de ácidos graxos e um (1) mol de glicerina (subproduto). Esse processo é conduzido por três reações consecutivas e reversíveis, onde os monoglicerídeos e diglicerídeos constituem os produtos intermediários (ENCINAR et al., 2002).

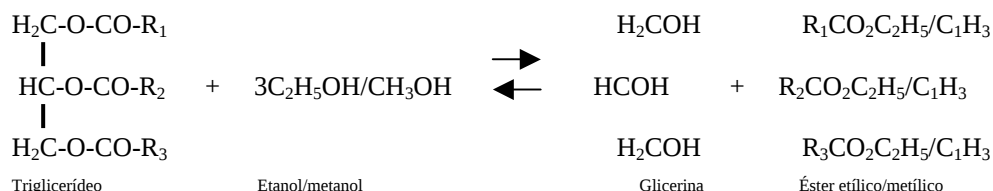


Figura 1 – Transesterificação de triglicerídeos onde R1, R2 e R3 representam as cadeias carbônicas dos ácidos graxos.

No mundo inteiro, o uso de biodiesel como combustível tem se mostrado promissor principalmente porque, quando comparada a de combustíveis fósseis, sua utilização diminui a emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e de hidrocarbonetos lançados ao ambiente e, conseqüentemente, ocorre a redução qualitativa e quantitativa dos níveis de poluição ambiental. Sendo, portanto, um mercado que cresce aceleradamente (FERRARI et al., 2005).

O Brasil consome cerca de 35 milhões de t/ano de óleo diesel. Assim com a ampliação do uso do biodiesel, haveria uma expressiva economia com a importação de petróleo, podendo, inclusive, minimizar o déficit na balança comercial. Além disso, no processo de transesterificação, obtém-se a glicerina, sendo seu aproveitamento outro aspecto importante na viabilização do processo de biodiesel, tornando-o competitivo no mercado internacional (FERRARI et al., 2005).

A origem do óleo reflete basicamente sua constituição e natureza dos ácidos graxos presentes nos triglicerídeos. Assim, óleos vegetais de espécies diferentes apresentam composição variada dos ácidos graxos presentes. Portanto, as propriedades do biodiesel serão originadas a partir dos ácidos graxos combinados nos óleos ou gorduras. Dentre as matérias-primas mais utilizadas para a produção de biodiesel, incluem-se os óleos de palma, soja, algodão e com grande destaque, a mamona.

A semente de mamona é constituída de 75% de amêndoa e 25% de casca, em termos médios. A quantidade de óleo extraída da semente está compreendida entre 40-60% em peso. Como componente principal, destaca-se o ácido ricinoleico (12-hidróxi-9-octadecenóico), que representa aproximadamente 90% da constituição total do óleo (KOUTROUBAS et al., 1999). Esse ácido é um hidroxiácido (ácido carboxílico hidroxilado), possui insaturação, massa

molar alta (298) e baixo ponto de fusão (5 °C). A quantidade total de ácidos graxos insaturados, entre eles, o ácido ricinoleico, responde por cerca de 97% em massa deste óleo vegetal. A concentração de ácidos graxos saturados nas sementes é de somente 2,3-3,6% (MORENO & CÓRDOBA, 1997). O óleo de mamona diferencia-se dos demais óleos vegetais pela quantidade de hidroxilas presentes, essa propriedade lhe confere solubilidade total em álcool. Além disso, possui uma boa estabilidade em diferentes condições de temperatura e pressão (KOUTROUBAS et al., 1999).

A reação de transesterificação ocorre em presença de um catalisador. A catálise pode ser homogênea (alcalina/ácida) ou heterogênea. Comparativamente, observa-se nesta reação maior rendimento e seletividade, quando catálise alcalina é usada ao invés de catálise ácida. Um outro aspecto desfavorável no último método é corrosão de equipamentos, associada à presença de resíduos ácidos (ENCINAR et al., 2002). O uso de catalisadores homogêneos requer etapas de purificação para os produtos finais da reação (ésteres de ácidos graxos e glicerina).

Recentes estudos (OLIVEIRA et al., 2004) tem mostrado a possibilidade do uso de um método alternativo para a produção de ésteres usando como catalisadores as enzimas (Catalise enzimática), por exemplo lipases. A crescente ênfase no uso de biocatalisadores deve-se às condições favoráveis de reação tais como valores de temperatura e pressão baixos e compatibilidade ambiental, além de sua alta especificidade, o que tem resultado num aumento do uso de enzimas para esses fins. As lipases são muito utilizadas em síntese orgânica devido à sua grande disponibilidade e baixo custo. Além disso, não requerem co-fatores, atuam em uma faixa de pH relativamente grande, são muito estáveis, apresentam especificidade, regiosseletividade, quimiosseletividade e enantiosseletividade. Possuem a habilidade de catalisar reações de esterificações, transesterificações (acidólise, interesterificação, alcoólise), aminólise e tiotransesterificação (solvente orgânico anidro, sistema bifásico e em solução micelar com alta especificidade).

Neste trabalho descrevemos os resultados dos ensaios estruturais (Infravermelho,  $^1\text{H}$  RMN), reológicos e termogravimétricos, além da avaliação de parâmetros físico-químicos como o índice de acidez e teor de umidade do óleo extraído, de diferentes maneiras, a partir das sementes de mamona. A caracterização do óleo bruto (extraído por solvente), comercial (obtido por prensagem) e refinado teve como principal objetivo avaliar se havia diferenças significativas na constituição destes óleos que pudessem acarretar mudanças nas propriedades do produto da transesterificação (biodiesel). Além disso, foram apresentados resultados parciais da reação de alcoólise alcalina e enzimática do óleo monitorado por cromatografia em camada delgada.

## 2. Metodologia

Foram utilizadas sementes de mamona, gentilmente fornecidas pela Santana Sementes LTDA, como também o óleo de mamona cedido gentilmente pela PROQUINOR LTDA. As lipases Novozyme 435 e Lyposime IM RM foram fornecidas pela Novozyme LTDA. Os solventes usados foram: álcool etílico 95% P.A, hexano P.A, glicerol P.A e álcool metílico anidro P.A.

### 2.1. Extração do óleo

Inicialmente, as sementes de mamona foram trituradas em um moinho convencional. Em seguida, cerca de 50g de material triturado foi colocado em um sistema de extração por soxhlet em presença de 400 mL de álcool etílico P.A. O sistema foi submetido a 4 refluxos à temperatura de 75°C. O mesmo procedimento foi realizado em triplicata.

### 2.2. Processo de refinamento do óleo

O processo de refino do óleo seguiu o procedimento descrito por *A.O.C.S.- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official and tentative methods.*

### 2.3. Análise espectrofotométrica na região do infravermelho

A caracterização estrutural das amostras de óleo bruto, refinado e comercial foi realizada através de um espectrofotômetro de infravermelho da BOMEN, modelo ABB, série MB 104.

### 2.4. Ressonância Magnética Nuclear

As análises de  $^1\text{H}$  RMN foram realizadas em um espectrômetro de ressonância magnética nuclear da Varian, modelo Mercury 200.

### 2.5. Reologia

O comportamento reológico das amostras foi avaliado em um Reômetro Digital RheoStress RS-150 acoplado a um banho termostático K20, ambos da Haake. A análise dos óleos foi feita utilizando-se um sensor do tipo cilindros coaxiais, modelo DG 41. As viscosidades das amostras foram medidas no intervalo de cisalhamento 0,1 – 200  $\text{s}^{-1}$ , durante 25 minutos, a 25°C.

### 2.6. Análise térmica

Através da Termogravimetria, foi possível avaliar o grau de degradação térmica dos óleos com o aumento da temperatura. Nessas análises, cerca de 1-5 mg de cada amostra dos óleos foram pesados em uma balança Termogravimétrica Shimadzu TGA-50H, em uma faixa de temperatura compreendida de 30- 650°C, com razão de aquecimento de 10°C  $\text{min}^{-1}$  e atmosfera dinâmica de nitrogênio, sob um fluxo de 100 mL  $\text{min}^{-1}$ .

## 2.7. Parâmetros físico-químicos

### 2.7.1. Índice de acidez

A determinação do índice de acidez foi feita baseado no procedimento descrito por MORETO & FETT, 1989.

### 2.7.2. Teor de umidade

As medidas foram realizadas em um titulador Karl Fischer da METTLER TOLEDO, modelo DL31. A determinação do teor de umidade presente nas amostras foi feita mediante a titulação de um reagente convencional Karl Fischer (Solução de iodo, dióxido de enxofre e imidazol) em um solvente metanol anidro P.A. em presença do óleo em análise. O mesmo procedimento foi realizado em triplicata.

## 2.8. Reação de transesterificação

As reações de transesterificação foram realizadas em dois sistemas reacionais, composto cada um, por um balão de três bocas de fundo chato, termômetro, condensador de refluxo com válvulas de entrada e saída de ar e um banho de óleo. Em ambos os sistemas a temperatura foi mantida a 65 °C. No primeiro, o óleo de mamona foi adicionado ao balão de fundo chato e mantido à temperatura constante, a partir de então foi adicionado ao meio reacional o álcool etílico P.A./catalisador (NaOH), estabelecendo o tempo zero de reação. A razão molar utilizada foi 1:20 de óleo/álcool etílico e 1% de catalisador. No segundo sistema, a lipase Liposyme IM RM foi adicionada à mistura óleo/álcool etílico/hexano (1g de óleo e 40 mL de hexano) à temperatura constante, estabelecendo nesse momento, o tempo zero da reação. A razão molar foi a mesma de óleo/álcool, entretanto utilizou-se 20% de catalisador e 10% de água. O mesmo procedimento foi adotado para a Novozyme 435.

## 2.9. Cromatografia em camada delgada

O monitoramento da alcoólise alcalina (NaOH) e enzimática (Liposyme RM IM e novosyme 435) do óleo comercial foi feito através da cromatografia em camada delgada, com o intuito de avaliar o andamento da reação através da polaridade dos constituintes presentes no meio, utilizando-se uma fase adsorvente de sílica e uma fase móvel composta por 95:5 de éter de petróleo-acetato de etila. As placas cromatográficas após a eluição foram reveladas com vapor de iodo e o Rf das manchas das diferentes amostras foram determinados.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Extração do óleo

A extração de óleo contido das sementes de mamona foi realizada por meio de um extrator soxhlet, utilizando-se o álcool etílico como solvente extrator. O processo de extração baseou-se na solubilidade dos triglicerídeos, principais componentes dos óleos. Dessa forma, a quantidade de óleo extraído está diretamente associada ao grau de polaridade do solvente utilizado. Resultados mostraram um rendimento médio de 55%, corroborando assim, com a literatura, que prevê um teor médio de 40-60% (KOUTROUBAS et al., 1999).

### 3.2. Análise espectrofotométrica na região do infravermelho

Através da análise por espectroscopia na região do infravermelho, obteve-se o conhecimento dos grupos funcionais presentes nos óleos com diferentes graus de pureza. De acordo com os espectros para as amostras de óleo bruto, refinado e comercial, foi observada a sobreposição dos picos, fato que justifica a não modificação estrutural das mesmas. Qualitativamente, foram identificadas bandas características da tri-ricinoleína em: 3450  $\text{cm}^{-1}$ , referente à deformação axial de OH; 2930  $\text{cm}^{-1}$  e 2850  $\text{cm}^{-1}$ , referente à deformação axial C-H; 1740  $\text{cm}^{-1}$ , referente à deformação axial de C=O; 1215  $\text{cm}^{-1}$ , referente à deformação axial de C-C(=O)-O (HOSAMANI et al., 2003).

### 3.3. Ressonância magnética nuclear

Através dos espectros de  $^1\text{H}$  RMN pode-se comprovar a presença da tri-ricinoleína presente nos óleos com diferentes graus de pureza. Na região 5,25 - 5,63 ppm observamos um multipeto com integração correspondente a aproximadamente seis para os hidrogênios vinílicos. Os deslocamentos químicos dos hidrogênios metilênicos, podem ser observados como um duplo dubleto na faixa de 4,11 - 4,17 ppm e um outro duplo dubleto entre 4,27 e 4,33 ppm. Na região de 3,55 a 3,69 ppm temos a presença de multipeto que correspondem aos três hidrogênios metílicos da porção etanólica. Os outros grupos metilênicos apresentam-se como multipetos na região de 1,22 a 2,40 ppm. Os hidrogênios metílicos presentes na cadeia carbônica do ácido graxo aparecem em aproximadamente 0,89 ppm. Resultados esses, que concordam com a não modificação estrutural apresentada pelos dados de infravermelho.

### 3.4. Reologia

O estudo reológico com relação à dependência da viscosidade do óleo extraído a partir das sementes de mamona, com diferentes graus de pureza, foi realizado em função da taxa de cisalhamento. Assim, pôde-se avaliar o comportamento de fluxo e as propriedades reológicas de cada uma das amostras. Este tipo de estudo visa fornecer parâmetros reológicos gerais para o desenvolvimento de sistemas que utilizam óleos vegetais como fonte alternativa de combustível (ADAMS et al., 2003). A Figura 2 mostra os dados reológicos da variação da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento para as amostras de óleo de mamona.

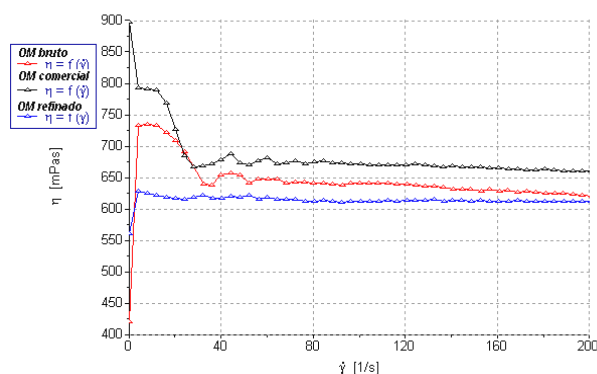


Figura 2 – Variação da viscosidade aparente com a taxa de cisalhamento para as amostras de óleo com diferentes graus de pureza.

Em função do comportamento reológico, ficam evidenciados valores distintos de viscosidade para as amostras analisadas. Em linhas gerais, a diferença nos valores de viscosidade pode ser atribuída a presença de outros constituintes extraídos pelo diferentes tratamentos recebidos pelo óleo, caracterizando, portanto, uma variação mais ampla na composição deste. Este comportamento é esperado, visto que, o processo de extração por solventes (álcool etílico) é mais seletivo para retirada dos constituintes baseado na solubilidade enquanto a prensagem pode arrastar muitos outros componentes, inclusive matéria insolúvel. Isto, provavelmente, foi responsável pelos menores valores de reologia no óleo comercial quando comparado ao óleo extraído por prensagem mecânica. O processo de refino tem como objetivo a remoção de impurezas minimizando os processos de degradação e hidrólise do óleo e, como esperado, o óleo refinado apresentou os mais baixos valores de reologia.

### 3.5. Análise térmica

A Tabela 1 mostra os eventos térmicos ocorridos para as amostras de óleo extraído a partir das sementes de mamona com diferentes graus de pureza.

Tabela 1 – Temperatura dos eventos térmicos ocorridos e a perda de massa das amostras de óleos utilizadas.

| Amostra      | Estágio | Ti (°C) | Tmd (°C) | Tf (°C) | Δm (%) |
|--------------|---------|---------|----------|---------|--------|
| OM bruto     | 1       | 250     | 390      | 479,80  | 98,9   |
| OM refinado  | 1       | 249,5   | 390      | 479,60  | 98,9   |
| OM comercial | 1       | 250     | 390      | 479,90  | 99,1   |

Ti/Tmd/Tf – Temperatura inicial, máxima decomposição e final      Δm – Perda de massa

Na análise dos eventos térmicos ocorridos, observa-se um comportamento estável dos óleos até em torno de 250 °C. O processo de decomposição térmica, segunda a curva DTG, ocorreu em um único estágio, iniciando-se em 250 °C, passando por um máximo de degradação (390 °C) e, finalizando em torno de 480 °C, a qual se refere à decomposição e carbonização do material, como mostrado na Tabela acima (FARIA et al., 2002).

### 3.6. Parâmetros físico-químicos

A Tabela 2 mostra um incremento significativo do índice de acidez para a amostra de óleo de mamona bruto. Esse aumento indica um desenvolvimento de reações hidrolíticas, com a produção de ácidos graxos livres e, consequentemente, de diglicerídeos, que ocorrem devido à presença de umidade, pois quanto maior o teor de umidade, maior favorecimento dessas reações. Fato atribuído aos diferentes graus de pureza dos óleos.

Tabela 2 – Índice de acidez e teor de umidade para os diferentes graus de pureza do óleo de mamona.

|                  | Óleo bruto | Óleo refinado | Óleo comercial |
|------------------|------------|---------------|----------------|
| Índice de acidez | 1,79       | 1,13          | 1,11           |
| Teor de umidade  | 0,19       | 0,11          | 0,10           |

### 3.7. Cromatografia em camada delgada

Analisando os cromatogramas obtidos, verificou-se a produção de ésteres etílicos através da comparação dos Rfs do material de partida (óleo) e da reação em andamento, conforme a Tabela 3. Os resultados confirmam a eficiência da alcoólise alcalina (NaOH) e da enzimática (Liposyme IM RM) para conversão, nas condições adotadas neste trabalho, do triglicerídio no éster etílico correspondente. Observamos que a enzima novozyme 435 não foi eficiente para catalisar a reação nessas condições. Contudo, novos planejamentos experimentais estão sendo feitos com o objetivo de avaliar as melhores condições da transesterificação.

Tabela 3 – Monitoramento das reações por cromatografia em camada delgada. Seção experimental A (Alcoólise alcalina) B (Alcoólise enzimática).

| A                  |  | Rfs |     |    |      |    |      |    |
|--------------------|--|-----|-----|----|------|----|------|----|
| Tempo (h)          |  | 0   | 1/2 | 1  | 11/2 | 2  | 21/2 | 3  |
| Catalisador (NaOH) |  |     |     |    |      |    |      |    |
| Ésteres etílicos   |  | -   | 32  | 46 | 48   | 49 | 50   | 50 |

| B                  |     | Rfs |   |   |    |    |    |    |    |
|--------------------|-----|-----|---|---|----|----|----|----|----|
| Tempo (h)          |     | 0   | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  |    |
| Catalisador        |     |     |   |   |    |    |    |    |    |
| Liposyme           | IM  | RM  | - | 5 | 10 | 12 | 18 | 20 | 21 |
| (Ésteres etílicos) |     |     |   |   |    |    |    |    |    |
| Novozyme           | 435 | -   | - | - | -  | -  | -  | -  | -  |
| (Ésteres etílicos) |     |     |   |   |    |    |    |    |    |

Rf em milímetros.

#### 4. Conclusões

Os ensaios estruturais mostraram que não houve variações significativas na composição dos óleos (refinado, bruto e comercial) e os resultados de termogravimetria indicam que estes têm aproximadamente a mesma estabilidade térmica corroborando, portanto, com os dados de IV e  $^1\text{H}$  RMN. Os baixos valores encontrados para o teor de umidade e de ácidos graxos livres são consistentes com os dados descritos na literatura e indicativo de uma conversão satisfatória (alcoólise alcalina). Altos teores de umidade e acidez acarretam a desativação do catalisador e formação de ácidos graxos livres e, como consequência, um alto índice de acidez promove reações de saponificação, transformando os ácidos graxos livres em sabão e formando moléculas de água, afetando diretamente o rendimento (FERRARI et al., 2005).

Analisando os cromatogramas obtidos verificou-se através dos Rfs, conforme Tabela 2, que não houve mudança aparente na transesterificação dos triglicerídeos (óleo refinado) em ésteres etílicos, após 1h, utilizando a catálise alcalina (NaOH). Com relação à catálise enzimática, a lipase lipozyme IM RM mostrou melhor eficiência quando comparada a Novosyme 435 utilizando o mesmo planejamento experimental.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Proquinor pelo óleo disponibilizado e a Novozyme LTDA pelas enzimas, além da FINEP;CT-PETRO, PETROBRAS e ao PRH-ANP-MCT pelo apoio financeiro.

#### 6. Referências bibliográficas

- A.O.C.S.- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official and tentative methods. 3<sup>a</sup>, ed. Champaign, 1983.
- ADAMS T. T.; GELLER D. P.; GOODRUM J. W. *Rheological characterization of animal fats and their mixtures with #2 fuel oil*. *Biomass and Bioenergy*, V. 24, p. 249-256, 2003.
- COSTA, H. M.; ABRANTES, T. A. S.; NUNES, R. C. R.; VISCONTE, L. L. Y.; FURTADO, C. R. G. Design and analysis of experiments in silica filled natural rubber compounds—effect of castor oil. *Polymer Testing*, V. 22, , p. 769-777, 2003.
- DUNN, R.O.; SHOCKLEY, M.W.; BAGBY, M.O. Improving low temperature flow performance of biodiesel fuels and blends. *Inform 5*, p. 529, 1994.
- ENCINAR, J.M.; GONZALEZ, J.F; RODRIGUEZ, J.J.; TEJEDOR, A. Biodiesel fuels from vegetable oils: transesterification of *Cynara cardunculus* L. oils with ethanol. *Energy and Fuel*, V. 16, p. 443–450, 2002.
- FARIA, E. A.; LELES, M. I. G.; IONASHIRO, M.; ZUPPA, T. O.; ANTONIO, N. R. Thermal stability of vegetal oils and fats by TG/DTG and DTA. *Eclética Química*, V.27, 2002.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, V. 28, 2005.
- KÖRBITZ, W. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. *Renewable Energy*, V.16, p.1078-1083, 1999.
- KOUTROUBAS, S. D.; PAPAKOSTA, D. K.; DOITSINIS, A. Adaptation and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy*, V. 11, p. 227-237, 1999.
- MORENO, R.; CÓRDOBA, G. Oil-related deflocculants for tape casting slips. *Journal of the European Ceramic Society*, V. 17, p. 351-357, 1997.
- MORETTO, E.; FETT, R. *Óleos e Gorduras Vegetais (Processamento e Análises)*, Editora da UFSC: Florianópolis, p. 142, 1989.
- OLIVEIRA, D. ; OLIVEIRA, J. V. ; FACCIO, C. ; MENONCIN, S. ; AMROGINSKI, C. Influencia das variáveis de processo na alcoólise enzimática do óleo de mamona. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, V. 2(24), p. 178-182, 2004.