UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ESTUDO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DE TRÊS ÓLEOS VEGETAIS COM CATALISADOR ZEOLÍTICO (TIPO A) PARA OBTENÇÃO DE BIODIESEL

Victor Augusto Araújo de Freitas

Bolsista CNPq

Manaus - AM

Dezembro/2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRO REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO PARCIAL

PIB-E-/0042/2008

ESTUDO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DE TRÊS ÓLEOS VEGETAIS COM CATALISADOR ZEOLÍTICO (TIPO A) PARA OBTENÇÃO DE BIODIESEL

_____
Victor Augusto Araújo de Freitas
Bolsista CNPq – Não é Renovação

_____
Prof. Dr. Paulo Rogério da Costa Couceiro
Orientador

Manaus - AM

Dezembro/2009

RESUMO

O crescente consumo dos combustíveis fósseis para produção de energia e transporte e o iminente esgotamento de suas fontes expõe a fragilidade da matriz energética mundial. O biodiesel surge como opção segura para a substituição do óleo diesel fóssil com as vantagens de ser renovável, não-tóxico ao meio ambiente, biodegradável e promover geração de renda na área rural. A produção do biodiesel em escala industrial atualmente é feita pela catálise homogênea básica que prejudica o rendimento do processo por necesitar de etapas de purificação, a alternativa promissora a prevenir tal efeito negativo é a catálise heterogênea que elimina as etapas de purificação. O presente trabalho visa testar o desempenho de catalisador zeolítico na obtenção do biodiesel dos óleos de soja, dendê e inajá comparando os resultados com a catálise homogênea básica. A obtenção de biodiesel pela rota homogênea resultou em rendimentos entre 65 % m/m (dendê) a 85 % m/m (soja). A hidroxisodalita pura como catalisador não apresentou atividade catalítica apreciável no processo de transesterificação para os óleos em estudo. Mas, a hidroxisodalita carregada com NaOH aumentou o rendimento de biodisel de soja em cerca de 9 % m/m, na sua reutilização apresentou rendimento de 84,1 % m/m. Por outro lado, o desempenho da hidroxisodalita na obtenção de biodiesel de dendê e inajá foi insatisfatório para os fins proposto neste projeto.

Palavras-chave: biodiesel, zeólita A, hidroxisodalita, catálise heterogênea.

ABSTRACT

The growing consumes of fossil fuels for energy production and transport and the imminent exhaustion of its sources exposes the fragility of the global energy matrix. The biodiesel is as safe option for the replacement of fossil diesel fuel with the advantages of being renewable, non-toxic to environment, biodegradable and promote income generation in rural areas. The production of biodiesel on an industrial scale is currently made by homogeneous basic catalysis which affect the efficiency of the process which needs steps of purification, a promising alternative to prevent such negative effects is the heterogeneous catalysis that eliminates the steps of purification. This study aims to test the performance of the zeolitic catalyst (type A) in producing biodiesel from soybean, dende and inaja oils, comparing the results with the basic homogeneous catalysis. The results shows the potential catalytic oh hidroxysodalite load with NaOH to obtain biodiesel from refined oils (soybean), perhaps would be necessary a deeper investigation when deal with oils without refined (dendê and inajá).

Keywords: Biodiesel, zeolite A, hidroxysodalite, heterogeneous catalysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8
2. REVISÃO DE LITERATURA 10
3. OBJETIVOS 13
3.1. GERAL 13
3.2. ESPECÍFICOS 13
4. MATERIAIS E MÉTODOS 14
4.1. AMOSTRAS DE ÓLEOS 14
4.2. CATÁLISE HOMOGÊNEA 14
4.3. CATÁLISE HETEROGÊNEA 15
4.4. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS 15
4.5. ANÁLISE QUALITATIVA DO BIODIESEL 16
5. RESULTADOS 17
5.1. ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E RENDIMENTOS 17
5.2. ANÁLISE QUALITATIVA DO BIODIESEL 18
5.3. ANÁLISE QUALITATIVA DO BIODIESEL POR CATÁLISE HETEROGÊNEA 21
6. CONCLUSÃO 22
7. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES 23
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Bep – Barril equivalente de petróleo

IA – Índice de acidez

IS – Índice de saponificação

IV - Infravermelho

Vc – Viscosidade cinemática

UE – União Européia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reação de transesterificação catalisada por base (LIMA, 2007). 11

Figura 2. Estrutura tridimensional da zeólita A (AGUIAR, 2002). 12

Figura 3. Espectros de absorção no IV do óleo de soja (linha preta), biodiesel de soja por catálise homogênea (linha azul) e biodiesel de soja por catálise heterogênea (linha vermelha). 19

Figura 4. Espectros de absorção no IV do óleo de dendê (linha preta) e biodiesel de dendê (linha vermelha) rota homogênea. 20

Figura 5. Espectros de absorção no IV do óleo de inajá (linha preta) e biodiesel de inajá (linha vermelha) rota homogênea. 20

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de produção de energia e de transporte, e em paralelo o desequilíbrio ambiental e a instabilidade no preço do barril de petróleo nas bolsas de valores vêm colocando em xeque-mate a oferta de petróleo no mercado mundial. Esses são fatores que impulsionam a pesquisa visando o desenvolvimento de fontes renováveis de energia com baixo custo de produção e menor emissão de poluentes, atendendo também ao desenvolvimento sócio-econômico com geração de renda e inclusão social.

A idéia de utilizar a biomassa renovável não é nova, no século XIX, Rudolf Diesel já fizera testes utilizando óleos vegetais brutos sem nenhum tratamento químico, seus experimentos não obtiveram êxito uma vez que ocorre a combustão incompleta do óleo originando muitos resíduos e prejudicando o motor (LIMA, 2007).

O biodiesel está se firmando na substituição do óleo diesel mineral ter parâmetros químicos e físico-químicos muito semelhantes aos do óleo diesel mineral e por essa razão pode ser utilizado em misturas de qualquer proporção ou puro (B100) sem comprometer o desempenho do motor (DERMIBAS, 2002). O uso do biodiesel contribui para o não agravamento do aquecimento global, não há emissão de compostos sulfurados, possui baixíssima viscosidade e pode ser utilizado como aditivo no próprio óleo diesel, entre outros usos e vantagens (LUNA, 2001). As desvantagens, como o pequeno aumento nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), em países de clima frio pode ocorrer a cristalização do biocombustível –

podendo ser corrigido com a adição de aditivos adequados, são superadas pelas vantagens mencionadas acima (BIODIESELBR, 2009).

Tendo em vista a instabilidade comercial dos combustíveis fósseis e a preservação ambiental este trabalho visa o estudo de obtenção de combustível renovável (biodiesel) através de catalisador zeolítico (tipo A) de três amostras de óleos vegetais (soja, dendê e inajá).

2. REVISÃO DE LITERATURA

A união européia é a maior produtora e consumidora de biodiesel, produzindo anualmente mais de 1,35 milhões de toneladas de biodiesel, em cerca de 40 unidades de produção. Isso corresponde a 90 % da produção mundial de biodiesel.

O Brasil tem grande potencial para produção industrial do biodiesel por possuir grande área territorial, variedade de biomassa, clima tropical sem grandes variações de temperatura e regularidade pluviométrica. Para alavancar o consumo de biodiesel o presidente Luís Inácio Lula da Silva sancionou a Lei n° 11.097/05, de 01/01/2005, que estabeleceu a adição opcional de 2 % de biodiesel ao diesel derivado do petróleo, a partir de 01/01/2008 a adição de 2 % passou a ser obrigatória e 5 % opcional, em que essa última se tornará obrigatória em 13/02/2013 (BRASIL, 2005).

No Brasil as principais fontes de óleo vegetal provêem da soja, girassol, mamona e algodão. Óleos vegetais são constituídos majoritariamente de triglicerídeos que podem ser compostos de ácidos graxos idênticos ou não, os óleos também contem outros componentes, mas em quantidades quase nunca superiores a 5 %, incluindo-se ácidos graxos livres, peróxidos, fosfatídeos, carotenóides, terpenos e tocoferóis (BRAGA, 2004).

O biodiesel é uma mistura de mono-alquilésteres originados da reação entre óleo vegetal ou gordura animal com álcool de cadeia curta e que deve a atender as especificações estabelecidas pela Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e

Biocombustíveis (ANP). Para que o óleo vegetal seja transformado em biodiesel é necessário que haja um processo de transesterificação (Figura 1)

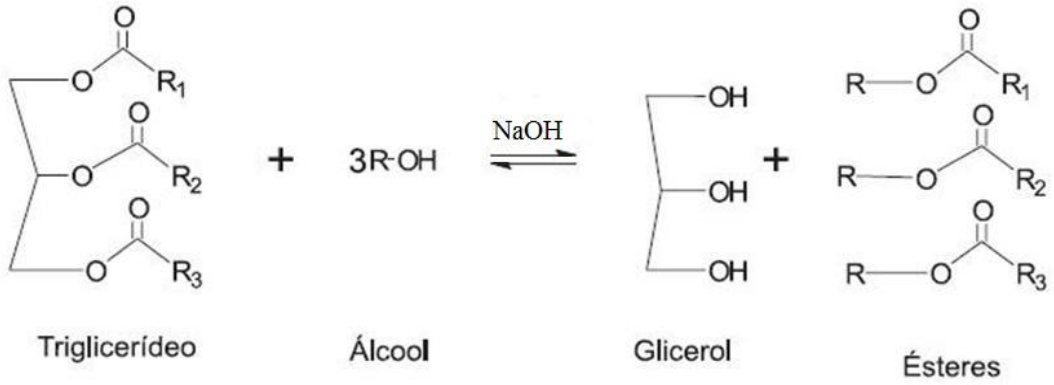

Figura 1. Reação de transesterificação catalisada por base (LIMA, 2007).

Os parâmetros como a razão molar óleo/álcool, temperatura reacional, tipo e concentração do catalisador têm influência direta no rendimento da reação para conversão do óleo vegetal para o biodiesel (BRAGA, 2004).

O uso de catalisadores homogêneos já tem seu uso e aplicação bastante difundidos e são utilizados nos processos industriais para obtenção de biodiesel. Os principais catalisadores homogêneos são as bases NaOH e KOH e os ácidos como o H_2SO_4. Catalisadores homogêneos apresentam certas características (difícil separação do catalisador dos produtos, não reutilizável etc.) que dificultam e elevam o custo do processo de transesterificação.

Os catalisadores heterogêneos vêm como uma alternativa segura para a substituição de catalisadores homogêneos para obtenção do biodiesel. Trabalhos anteriores já utilizaram óxidos, carbonatos, enzimas e zeólitas e apresentaram resultados satisfatórios na obtenção do biodiesel (XIE, 2006).

As zeólitas são utilizadas como catalisadores desde 1960 por possuir alta seletividade, área superficial elevada, adsorvente, capacidade de troca iônica, entre outras características. Zeólitas são estruturas cristalinas porosas compostas por tetraedros de alumínio e silício ligados entre si por átomos de oxigênio (Figura 2). O tamanho de poro reduzido as tornam extremamente seletivas e uma excelente opção para a indústria petroquímica na utilização de craqueamento de petróleo, dessulfurização de combustíveis, entre outras aplicações (LUNA, 2001).

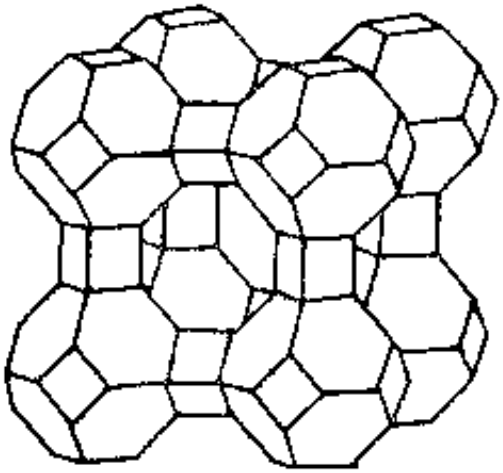

Figura 2. Estrutura tridimensional da zeólita A (AGUIAR, 2002).

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL

Avaliar a rentabilidade do processo de transesterificação dos óleos de soja, dendê e inajá em biodiesel aplicando o catalisador zeolítico tipo A.

3.2. ESPECÍFICOS

i. Determinar a melhor relação óleo/catalisador zeolítico tipo A;

ii. Determinar os parâmetros físico-químicos otimizados relação à velocidade e rendimento da reação;

iii. Caracterizar os ésteres metílicos por cromatografia em fase gasosa com dector de ionização de chamas (CG-FID).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. AMOSTRAS DE ÓLEOS

O óleo de soja foi obtido comercialmente em supermercados. O óleo de dendê foi doado pelo pesquisador Ricardo Lopes do Laboratório de Dendê e Agroenergia da EMBRAPA – AM (km 29 da Rodovia AM-010). O óleo de inajá foi obtido através da prensagem mecânica das amêndoas dos frutos, seguido de filtragem e armazenamento, esses frutos foram coletados nas proximidades do município de Mucajaí-RO, no período de junho/julho de 2008.

4.2. CATÁLISE HOMOGÊNEA

Para a obtenção do biodiesel através da catálise homogênea utilizou-se a razão molar de óleo/álcool de 1/6 e 1 % em massa do catalisador (NaOH) em relação ao óleo. A reação de transesterificação foi conduzida em sistema de refluxo com temperatura reacional entre 55 a 60 ºC por 2 h, em banho de óleo com o agitador magnético da Tecnal, modelo TE-0851. Após 2 h de reação o produto obtido foi decantado por 20 min em um funil de separação, a fase inferior foi descartada e a fase superior foi submetida a sucessivas lavagens com solução de HCl 0,1 mol L^{-1} e água destilada.

4.3. CATÁLISE HETEROGÊNEA

Para a obtenção do biodiesel através da catálise heterogênea utilizou-se a razão molar óleo/álcool de 1/6 e 2,5 % em massa do catalisador zeolítico (hidroxisodalita) puro e carregado com NaOH em relação ao óleo. A reação de transesterificação foi conduzida em sistema de refluxo com temperatura reacional entre 60 a 65 ºC por 2 h em banho de óleo com o agitador magnético da Tecnal, modelo TE-0851.

Ao término da reação o produto obtido foi submetido à filtração simples para separação do catalisador e em seguida foi deixado em funil de decantação para separação das fases por 30 min. A fase superior (ésteres) foi centrifugada por 25 min a 3.500 rpm e seca com sulfato de sódio anidro em uma nova filtração simples. A recarga foi realizada de acordo com a metodologia de Xie e colaboradores (2007).

O projeto em tela teve como proposta inicial o estudo da transesterificação empregando zeólita A, sintetizada a partir de amostras de solos da região amazônica, síntese essa realizada pelo projeto PIB-E 014/2007. Contudo a síntese não resultou no produto de interesse, ou seja, em zeólita A e sim, em hidroxisodalita, outra forma da zeólita A (MAIA, 2007).

4.4. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

Os ensaios químicos e físico-químicos realizados nos óleos e biodieseis (produtos transesterificados) foram feitos de acordo com a Metodologia Padrão

Alemã para análise de gorduras e outros lipídios, traduzida por Esteves e colaboradores (1995). Os ensaios realizados foram: índice de acidez (ASTM 664;NBR 14448), índice de saponificação, aspecto visual, viscosidade cinemática a 40 ^{o}C (ASTM 445; NBR 104441), masas específica a 20 ^{o}C (ASTM 1298;NBR 14065) e teor de umidade (ASTM 6304).

4.5. ANÁLISE QUALITATIVA DO BIODIESEL

Os espectros de absorção na região do IV foram obtidos em um equipamento FT-IR da PERKIN ELMER, modelo Spectrum 2000 (Central Analítica do Centro de Apoio Multiisciplinar - CAM, Universidade Federal do Amazonas - UFAM), na faixa de 4.000 a 400 cm^{-1} com 4 scans. Pastilha de KBr (disco) previamente preparado foi espalhado um filme líquido da amostra ao ser analisado, óleos e biodieseis separadamente.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISES QUÍMICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E RENDIMENTOS

A Tabela 1 mostra os resultados das análises químicas e físico-químicas realizadas no óleo e no biodiesel de soja, de dendê e de inajá obtidos através da catálise homogênea.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e físico-químicas dos óleos e seus respectivos biodieseis e rendimentos.

Análise		ANP (Limite)	Soja	Dendê	Inajá
Química					
IA/(mg KOH/g)	O	-	0,054	10,710	2,490
	B_h	≤ 0,50	0,064	1,025	1,027
IS/(mg KOH/g)	O	-	187,42	186,51	243,67
	B_h	-	-	-	-
Físico-Química					
Aspecto (visual)	O	-	LII	LII	Turvo
	B_h	LII	LII	LII	LII
Viscosidade Cinemática a 40 ºC ($mm^2\ s^{-1}$)	O	-			29,74
	B_h	3,0 - 6,0	4,430	5,223	3,094
Teor de Umidade ($mg.kg^{-1}$)	O	-	26,3	4,5	-
	B_h	500	69,3	23,0	423,4
Massa Específica a 20 ºC ($kg\ m^{-3}$)	O	-	952,0	907,3	943,8
	B_h	850 - 900	886,6	872,9	867,5
Rendimento (%)	B_h	-	85	65	80
	B_H	-	95	-	-

Legenda: O = óleo; B_h = biodiesel rota homogênea; B_H = biodiesel rota heterogênea; LII = Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.

Como esperado, as características químicas e físico-químicas dos biodieseis diferem dos seus respectivos óleos. Os ensaios físico-químicos realizados estão em conformidade com os limites estabelecidos pela ANP.

Quanto às características químicas, o único IA abaixo do limite foi o de soja. O óleo de dendê apresentou IA de 10,71 mg de KOH/g, mas o seu respectivo biodiesel teve uma queda significativa para 1,02 mg de KOH/g, o que corresponde ao dobro do valor limite da ANP. Esse resultado sugere que a melhor rota sintética para obtenção do biodiesel é através da catálise ácida e não a da catálise básica adotada neste trabalho. Uma vez que, a reação de saponificação ocorre paralelamente à reação de transesterificação ocasionando em significativa perda de rendimento (BRAGA, 2004), como observado na Tabela 1. O que justifica o menor rendimento de biodiesel dentre os demais óleos (Tabela 1).

O biodiesel de óleo de inajá apresentou IA de 1,03 mg de KOH/g, também acima do limite permitido. Mas, por outro lado, o óleo de inajá apresentou uma acentuada turbidez, o que sugere uma elevada concentração de ácidos graxos livres e/ou alto teor de água, esses fatores contribuem para a competição de reações paralelas como saponificação e esterificação, o que altera a qualidade do biodiesel obtido (BRAGA, 2004).

5.2. ANÁLISE QUALITATIVA DO BIODIESEL

A comparação dos espectros de IV do óleo de soja e seu biodiesel (Figura 3), obtido pelos processos homogêneo e heterogêneo, confirmam a conversão dos

triglicerídeos em ésteres. As bandas de absorções de vibrações na região de 3009, 2950, 2928 e 2840 cm^{-1} são provenientes de estiramentos das ligações C–H dos grupos $–CH_2–$ e $–CH_3$, respectivamente. A banda de absorção estreita e forte em 1747 cm^{-1} é típica de estiramentos do grupo carbonila, C=O, de ácidos e/ou estéres. Já, nos espectros das amostras de BShm e BSht as bandas próximas em 1244, 1196 e 1174 cm^{-1} (Figura 3) são típicas de padrão de estiramentos dos ésteres metílicos que confirmam a transesterificação.

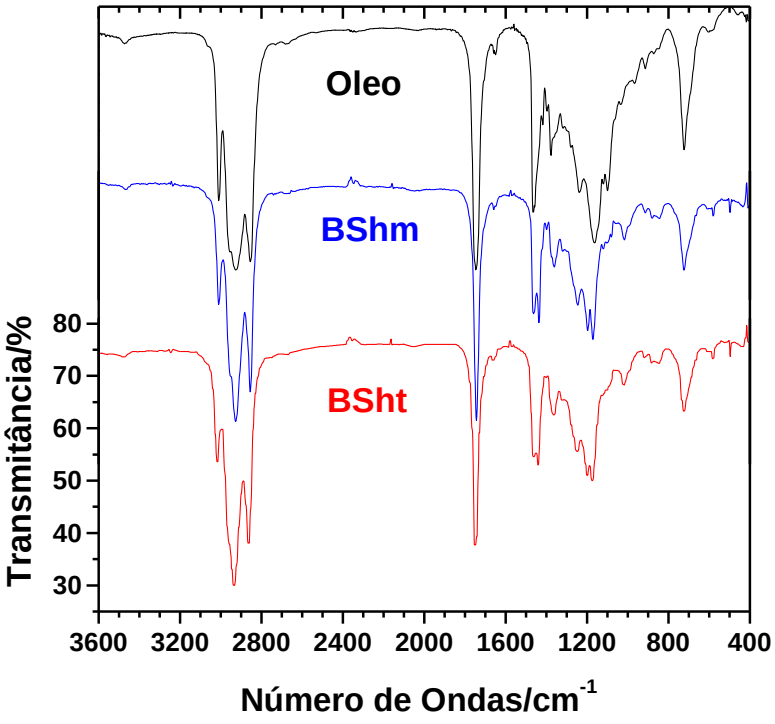

Figura 3. Espectros de absorção no IV do óleo de soja (linha preta), biodiesel de soja por catálise homogênea (linha azul) e biodiesel de soja por catálise heterogênea (linha vermelha).

As Figuras 4 e 5 mostram os espectros de absorção no IV de óleo de dendê e de inajá e seus respectivos biodieseis. Esses espectros em comparação com os da

Figura 3, apresentam os mesmos padrões de bandas de absorções de vibrações, o que sugere pleno êxito na produção do biodiesel pela da rota homogênea.

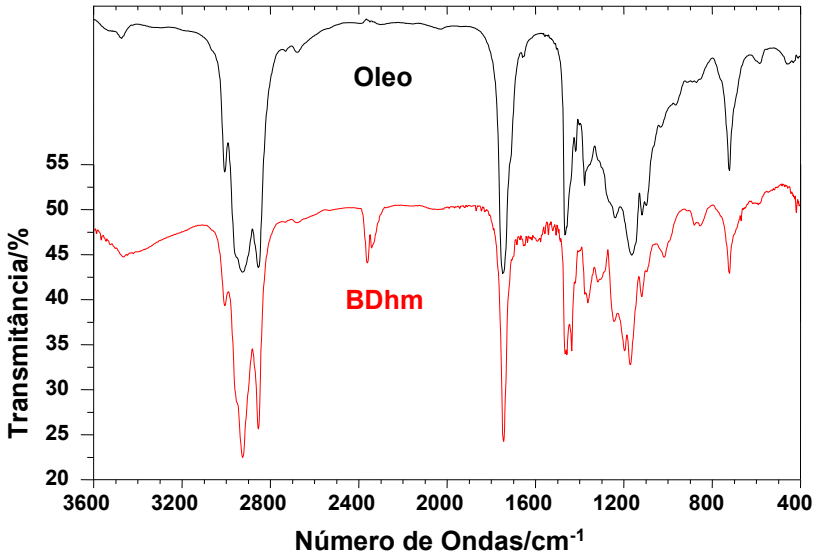

Figura 4. Espectros de absorção no IV do óleo de dendê (linha preta) e biodiesel de dendê (linha vermelha) rota homogênea.

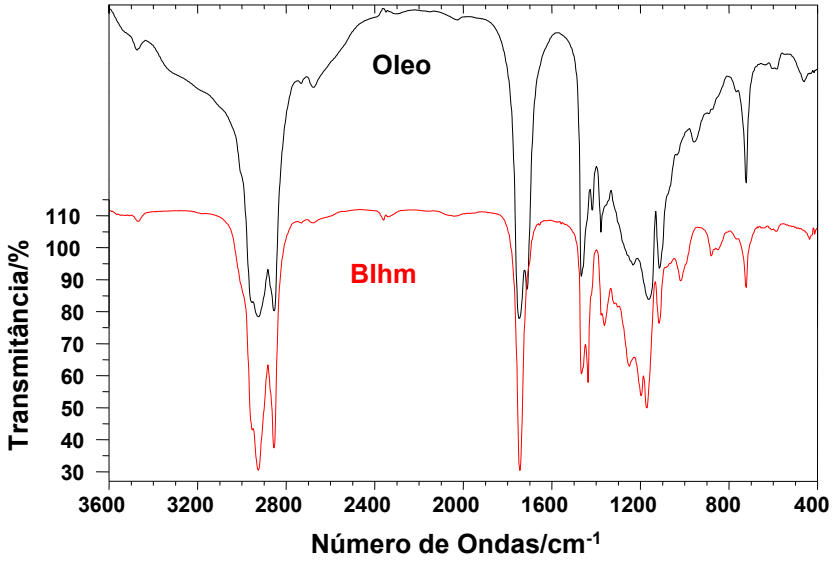

Figura 5. Espectros de absorção no IV do óleo de inajá (linha preta) e biodiesel de inajá (linha vermelha) rota homogênea.

É interessante ressalvar o alargamento da banda de absorção na faixa de 3300 a 2500 cm^{-1} no óleo de inajá (Figura 5), sugerindo a presença de ácidos graxos livres e/ou água, resultado esse consonantes com os ensaios químicos e físico-químicos.

5.3. ANÁLISE QUALITATIVA DO BIODIESEL POR CATÁLISE HETEROGÊNEA

A hidroxisodalita pura não apresentou atividade catalítica apreciável em nenhum dos óleos. Mas, quando carregada com hidróxido de sódio (NaOH) o rendimento obtido para biodiesel de óleo de soja foi muito satisfatório.

O óleo de soja obteve maior grau de conversão em ésteres metílicos, cerca de 94 % m/m e ao final do processo foi possível recuperar 94,9 % (m/m) da hidroxisodalita. Após a recarga e reutilização da hidroxisodalita em uma nova reação de transesterificação foi obtido cerca de 88,1 % m/m de rendimento de biodiesel de soja.

O óleo de dendê não apresentou conversão em ésteres metílicos. Todas as reações pela rota heterogênea conduziram em reações de saponificação e não de transesterificação. E não possível identificar as causas que levaram a saponificação.

A hidroxisodalita pura e carregada não apresentou atividade catalítica apreciável para o óleo de inajá, nem mesmo para saponificação.

6. CONCLUSÃO

Os parâmetros físico-químicos dos biodieseis estão em consonância com os estabelecidos pela ANP. Mas, os biodieseis de dendê e inajá apresentaram os IA acima do limite permitido, fato que pode estar associado ao alto valor do índice de acidez (óleo de dendê) ou teor de umidade (óleo de inajá) dos óleos.

A obtenção de biodiesel pela rota homogênea resultou em rendimentos variando de 65 % m/m (dendê) até 85 % m/m (soja).

A hidroxisodalita pura como catalisador não apresentou atividade catalítica apreciável no processo de transesterificação para os óleos em estudo.

Mas, a hidroxisodalita carregada com NaOH aumentou o rendimento de biodisel de soja em cerca de 9 % m/m, na sua reutilização apresentou rendimento de 84,1 % m/m. Por outro lado, o desempenho da hidroxisodalita na obtenção de biodiesel de dendê e inajá foi insatisfatório para os fins proposto neste projeto.

7. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

Nº	Descrição	2008					2009						
		ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul
1.	Revisão da literatura												
2.	Aquisição dos óleos e caracterização físico-químicas e químicas												
3.	Ensaios para obtenção de biodiesel por transesterificação convencional												
4.	Otimização da proporção óleo e metanol na obtenção do biodiesel												
5.	Caracterização do biodiesel												
6.	Elaboração do relatório parcial												
7.	Ensaios para obtenção de biodiesel por transesterificação com catalisador												
8.	Caracterização do biodiesel												
9.	Elaboração do resumo e Relatório Final												
10.	Preparação da Apres. Final para o Congresso												

OBSERVAÇÕES:

Os itens 5, 6, 7 e 8 foram comprometidos pela qualidade da matéria-prima como: IA elevado (óleo de dendê) e elevada umidade (óleo de inajá), e pelas técnicas instrumentais, como a não utilização da cromatografia por falta de gás e coluna.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A SOJA. Disponível em: <www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16>. Acessado em 13 de janeiro de 2009.

AGUIAR, M. R. M. P; NOVAES, A. C.; Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. Química Nova, v. 25, n. 6B, p. 1145 – 1154. 2002.

ARVALHO, A. L. DE; FERREIRA, E. J. L.; NASCIMENTO, J. F; REGIANE, A. M.; *Aspectos da Biometria dos Cachos, Frutos e Sementes da Palmeira Najá (Maximiliana maripa (Aublet) Drude) na Região Leste do Estado do Acre. In: 57º Congresso Nacional de botânica, 2007, Gramado. Revista Brasileira de Biociências. Porto Alegre: Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.* v. 5. p. 228-230, 2007.

BIODIESEL NO MUNDO. Disponível em: <www.biodieselbr.com/biodiesel/mundo/biodiesel-no-mundo.htm>. Acessado em 13 de janeiro de 2009.

BRAGA, M.; Obtenção de biodiesel a partir dos óleos de soja, maracujá, palma, palmiste e seu potencial como combustível alternativo. 2004. 115f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Pará. 2004.

DENDÊ. Disponível em: <www.ceplac.gov.br/radar/dende.htm>. Acessado em 13 de janeiro de 2009

DERMIBAS, A.; Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol, Energy Conversion and Management, v. 43, p. 2349-2356, 2002.

ESTEVES, W; LIRENY, A. G. G; ARELLANO, D. B.; Metodologia padrão alemã para a análise de gorduras e outros lipídeos. Campinas: UNICAMP/FEA/ Laboratório de Óleos e Gorduras, 1995.

GHESTI, G. F.; Estudo de catalisadores para obtenção de biodiesel por transesterificação e determinação do rendimento por espectroscopia Raman. 117f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de Brasília, 2006.

KNOTHE, G; KRAHL, J; GERPEN, J. V; RAMOS, L. P.; Manual de Biodiesel, Editora Edgard Blucher: São Paulo, 2005. p. 352. ISBN: 9788521204053.

LIMA, J. R. O; SILVA, R. B; SILVA, C. C. M; SANTOS, L. S. S.; SANTOS, J. R. J.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R.; Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp*.) obtido por via etanólica. Química Nova. v. 30, n. 3, p.600-603, 2007.

LIMA, J. S. V; COUCEIRO, P. R. C.; Zeólitas sintetizadas a partir de amostras de caulinita de solos amazônicos. XVII Congresso de Iniciação Científica da UFAM, 2008.

LUNA, F. J.; Modificação de zeólitas para uso em catálise, Química Nova. v. 24, n. 6, p. 885 – 892, 2001.

MAIA, A. A. B.; SALDANHA, E.; ANGÉLICA, R. S.; SOUZA, C. A. G.; NEVES, R. F.; Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A. Cerâmica. v. 53. p. 319 – 324. 2007.

MIGNONI, M. L; DETONI, C; PERGHER, S. B. C.; Estudo de síntese de zeólita ZSM-5 a partir de argilas naturais. Química Nova, v. 30, n 1, p. 45 - 48, 2007.

MONTEIRO, K. F. G; SILVA, A. R. F; SOUZA, C. T. CONCEIÇÃO, E. R.; O cultivo do dendê como alternativa de produção para a agricultura familiar e sua inserção na cadeia do biodiesel no estado do Pará. Anais do Congresso, Biodiesel: o novo combustível do Brasil, v. único, p. 55-60, 2006.

MOTA, R. V.; FRANÇA, L. F.; Estudo das Características da Ucuuba (*Virola Surinamensis*) e do Inajá (*Maximiliana Regia*) com Vistas à Produção de Biodiesel. Revista Científica da UFPA, v. 6, n. 1, 2007. Disponível em http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica/.

NETO, P. R. C, Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. Química Nova. v. 23, n. 4 p. 53-537, 2000.

NETO, P. R. C; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. Química Nova. v. 23, n. 4, p. 531 – 537, 2000.

O POTENCIAL DO INAJÁ. Disponível em <www.cpafrr.embrapa.br/index.php/cpafrr/not_cias/o_potencial_do_inaj>. Acessado em 13 de janeiro de 2009.

REZENDE, M. J. C.; FARIA, R. C. M.; OLIVEIRA, C. H. O.; PINTO, A. C.; Avaliação de catalisador a base de argila na produção de biodiesel, Anais do 3º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, Salvador-BA, em 2 a 5 de outubro de 2005.

SRINIVASAN, S.; The Food v. Fuel Debate: A nuanced view of incentive structures, Renewable Energy, v. 34, p. 950-954, 2009.

TAPANES, N de C; ARANDA, D. A. G.; Transesterificação dos Glicerídeos do Óleo de Jatropha Curcas L. Estudo Teórico. *In*: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, Brasília-DF, 2006.

XIE, W.; HUANG, X.; LI, H.; Soybean oil methyl esters preparation using NaX zeólitas loaded with KOH as a heterogeneous catalyst. Bioresource Technology, v. 98, p. 936-939, 2006.