

# PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR MEIO DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA UTILIZANDO KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> COMO CATALISADOR

Jéssica Renaly Fernandes Moraes<sup>1</sup>; Ana Carla da Fonseca Ferreira<sup>1</sup>; Norma Maria de Oliveira Lima<sup>1</sup>; Ranny Rodrigues Freire<sup>2</sup>, Normanda Lino Freitas<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento - [jessicafernandes145@gmail.com](mailto:jessicafernandes145@gmail.com) ; [anacarla-assu@hotmail.com](mailto:anacarla-assu@hotmail.com); [norma@ufcg.edu.br](mailto:norma@ufcg.edu.br); [normanda@ufcg.edu.br](mailto:normanda@ufcg.edu.br)  
<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Química – [ranny.rrf@hotmail.com](mailto:ranny.rrf@hotmail.com).

## RESUMO

Tencionando a crescente ausência dos recursos não renováveis, que já não suprem a demanda energética atual, e da conseqüente necessidade de substituí-los por recursos que degradem menos o meio ambiente, a busca por inovações tecnológicas torna-se essencial para suprir tais ensejos. O objetivo desse estudo é a preparação de catalisadores heterogêneos a base de alumina, impregnados com hidróxido de potássio, por via úmida para produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura por meio da reação de transesterificação, foram caracterizados por difração de raios-X (DRX), distribuição granulométrica, análise textural por adsorção de nitrogênio (BET), análise química por fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDX) e testes catalíticos. Os resultados apresentam a presença da fase cristalina estável Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e após a impregnação a segunda fase formada de K<sub>2</sub>O. As amostras apresentaram valores de área superficial em média de m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, com classificação dos poros na faixa mesoporosa. Os testes catalíticos após a impregnação revelaram um excelente e promissor potencial catalítico para todos os tempos estudados, apresentaram percentuais de conversão entre 90-97,5% em éteres metílicos (biodiesel). PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel, óleo residual, transesterificação, alumina, KOH.

## 1. INTRODUÇÃO

O progressivo esgotamento dos combustíveis de origem fóssil e o aumento da poluição ambiental nas grandes cidades vêm sendo assuntos de preocupação mundial. A escassez de petróleo e gás natural é prevista ainda para esse século. Essas mesmas fontes energéticas são grandes responsáveis pelas emissões gasosas que tem provocado o aumento da temperatura do planeta e

problemas à saúde da população [ENCARNAÇÃO, 2008].

Neste contexto, a nova ordem mundial deve ser a busca pela autossuficiência em geração de energia, aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a demanda interna dos países, no caso de uma escassez de

combustíveis fósseis. Para tanto, os países têm que ter sob controle fontes primárias de geração de energia elétrica, térmica e veicular e em um mundo globalizado é necessário que haja uma interdependência entre os países e uma autossuficiência em alguma fonte de energia [IGNATIOS apud PACHECO, 2006]. Dentre as energias proveniente de fontes renováveis, o biodiesel é considerado como um dos mais promissores.

De acordo com Agência Nacional de Petróleo [ANP, Decreto 11.097, 2005], Biodiesel é definido como um biocombustível composto de mono-álquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais, para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão (motores do ciclo diesel), ou conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

O processo mais comum de obtenção de biodiesel é a transesterificação, uma reação em que o óleo ou gordura vegetal reage com álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (pode ser ácido ou básico e homogêneo ou heterogêneo), para formar álcool-ésteres e glicerol. Os álcool-ésteres produzidos depende do tipo de álcool empregado, assim como dos ácidos graxos livres nos óleos vegetais. O uso do metanol favorece este processo, já que fornece uma

viscosidade adequada, além de elevados pontos de ebulição e um alto número de cetano [FANGRUI e MILFORD; 1999].

### **1.1. Óleo residual de fritura**

A utilização do óleo de fritura como matéria-prima para produção de biodiesel vem se mostrando, cada vez mais, viável e vantajosa, seja por razões econômicas ou ambientais [ZAHER et al., 2003; FELIZARDO et al., 2006; TSAI et al., 2007]. As três principais vantagens de sua utilização são: o processo de produção do biodiesel não necessita da etapa de extração do óleo, reduzindo os custos do processo; por se tratar de um resíduo, os custos com matéria-prima são reduzidos; e favorece a redução da poluição do solo e do lençol freático com o descarte adequado deste resíduo. Porém, o estado de oxidação e rancidez do óleo é um fato de grande importância que pode limitar a utilização dos óleos de fritura como matéria-prima para a reação de transesterificação alcalina. A oxidação, que é acelerada pela alta temperatura do processo de fritura, é a principal responsável pela modificação das características físico-químicas do óleo.

### **1.2. Catalisador**

Os catalisadores homogêneos podem ser básicos (NaOH, KOH, etc.) ou ácidos (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, etc.). No entanto, os básicos apresentam

melhores resultados quanto à velocidade de reação [KIM et al., 2004]. Por outro lado os catalisadores heterogêneos são sólidos. Dentre esses se destacam as aluminas, sílicas, carbonatos de metais alcalinos, zeólitas e catalisadores suportados, tais como Na e NaOH em  $Al_2O_3$  [WATKINS et al., 2004] e Li em CaO [SUPPES et al., 2004].

O presente trabalho teve por finalidade impregnar a alumina em KOH por via úmida, de forma a avaliar sua aplicação como catalisador heterogêneo em reação de transesterificação do óleo residual de fritura para obtenção de biodiesel.

## 2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Química Analítica (UFCG/ Campus Sumé) e no Laboratório de Síntese e Materiais Cerâmicos da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (LabSMaC) da UFCG. As etapas seguintes constituem o processo para a obtenção do biodiesel.

### 2.1. Síntese da alumina por reação de combustão

Para a síntese da  $Al_2O_3$  foi utilizada os seguintes reagentes, todos com grau de pureza acima de 98%: nitrato de alumínio (como agentes oxidantes), e ureia (como agente redutor) de modo a formar uma solução redox.

A composição inicial da solução foi baseada na valência total dos reagentes oxidantes e redutores utilizando conceitos da química dos propelentes e explosivos proposto por Jain et al., [1981]. A mistura redox de nitrato e combustível, preparada de acordo com a estequiometria pré-estabelecida, foram misturados em um recipiente, o qual possibilita a produção em bateladas de 10g por reação de produto. A massa do nitrato de alumínio e da ureia foram 71,4152g e 28,5847g, respectivamente. A mistura dos reagentes foi aquecida diretamente por uma base cerâmica. Após a obtenção das amostras, o produto da reação, na forma de flocos porosos, foram desaglomerados em peneira malha 325, e encaminhados a caracterização.

### 2.2. Impregnação do hidróxido de potássio ( $Al_2O_3/KOH$ ) na alumina pelo procedimento via úmida

O processo de impregnação confere um maior poder catalítico aos catalisadores heterogêneos. Este fato é evidenciado quando observamos os elevados resultados de conversão obtidos nos sistemas catalíticos impregnados utilizados no processo de transesterificação [BOZ et al., 2009].

O processo de impregnação utilizado foi por dispersão física via úmida [XIE, et al. 2006] no preparo do catalisador  $KOH/Al_2O_3$ . Para tanto a fonte precursora do potássio, foi

o hidróxido de potássio (KOH). O potássio foi introduzido na alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) na concentração de 30%, por dispersão a úmido, durante o tempo de 1 h.

A impregnação por via úmida consistiu no preparo de uma solução de hidróxido de potássio (KOH) de forma a gerar o catalisador. Para o cálculo da massa de potássio e, posteriormente, da massa do sal será utilizados as Equações 1 e 2, respectivamente. Uma vez determinada a massa de KOH, esta foi dissolvida em água para a obtenção de uma solução, a qual será misturada a alumina na proporção de 1:30. A mistura então foi agitada por 1 hora a temperatura ambiente, sendo, em seguida, a fase líquida evaporada em estufa com circulação de ar a  $70^\circ\text{C}$ . Evaporada a fase líquida, o material foi mantido por 3 horas a  $110^\circ\text{C}$ .

$$P = \frac{m_K}{m_K + m_{\text{Al}_2\text{O}_3}} \quad [1]$$

$$m_{\text{sal}} = \frac{m_K}{P_K} \quad [2]$$

Onde:  $m_K$  (g) é a massa do íon potássio,  $m_{\text{Al}_2\text{O}_3}$  (g) a massa do suporte,  $P_K$  é o percentual do íon potássio no sal (decimal),  $P$  o percentual do íon a ser empregada (decimal) e  $m_{\text{sal}}$  a massa do sal (g) precursor do sal a ser pesada.

Os catalisadores obtidos foram calcinados a  $500^\circ\text{C}$  por 5 horas sob ar atmosférico, seguindo a sequência de aquecimento de  $100^\circ\text{C}/0,5\text{h}$ ;  $200^\circ\text{C}/1\text{h}$ ;  $350^\circ\text{C}/3\text{h}$  e  $500^\circ\text{C}/5\text{h}$ .

## 2.2. Caracterizações do suporte catalítico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e catalisador (KOH/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

### 2.2.1. Difração de raios X

A determinação das fases presentes foram determinados a partir dos dados de difração utilizando um difratômetro de raios X SHIMADZU (modelo XRD 6000, radiação Cu K). O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM) da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMa) da UFCG.

### 2.2.2. Análise química por fluorescência de raios X por energia dispersiva – EDX

A análise semi-quantitativa dos óxidos e elementos presentes nas amostras de alumina -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (pura e impregnada) será determinado por espectroscopia de fluorescência de raios X por energia dispersiva, modelo EDX-720, da marca SHIMADZU. Esse ensaio será realizado no Laboratório de Engenharia de Materiais da UFCG.

### 2.2.3. Análise Textural - Adsorção de Nitrogênio

A análise textural das amostras foi realizada em analisador de área superficial e tamanho de poro da Quantachrome modelo Nova 3200e. Com a análise foi possível obter as isotermas de adsorção/dessorção das amostras, a área superficial específica, o volume de poros (total e de microporo), o diâmetro de poros e sua distribuição. Para a realização das análises as amostras foram secas em estufa sem circulação de ar a 150 °C por 12 horas e posteriormente, sob vácuo no equipamento, a 350 °C por 4 horas.

A área superficial específica foi determinada pelo método de BET, o qual se baseia nos dados da isoterma de adsorção na faixa de pressão relativa ( $P/P_0$ ) de 0,05 a 0,30 [BRUNAUER et al., 1938]. O diâmetro e a distribuição de poros foram determinados usando o método de BJH [BARRETT et al., 1953] e o volume poroso pela quantidade de nitrogênio adsorvido a  $P/P_0$  igual a 0,95. A partir desta técnica também foi determinado o tamanho médio da partícula por meio da equação proposta por Reed [1996], que considera a partícula como sendo esférica.

$$D_{\text{BET}} = \frac{6}{S_{\text{BET}} \cdot \rho} \quad [3]$$

Onde:  $D_{\text{BET}}$  é diâmetro médio equivalente (nm),  $S_{\text{BET}}$  é área superficial determinada pelo

método BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) e  $\rho$ , a densidade teórica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### **2.3. Limpeza do óleo residual de fritura**

Inicialmente, o óleo residual de fritura foi filtrado em papel-filtro, em seguida, foi feita a lavagem do óleo, no qual foi acrescentada 10% de água sobre o volume total, proposta pela metodologia de Siqueira [2010], deixou-o sob estas condições por uma semana e, posteriormente, foi feita uma última filtragem.

### **2.4 Testes catalíticos**

Para avaliação da atividade catalítica os catalisadores foram testados nas reações de transesterificação do óleo residual de fritura previamente limpo em presença de metanol como agentes de alcoólise. Inicialmente foram realizados testes catalíticos exploratórios em condições padronizadas (teste em branco), com a finalidade de verificar a transformação do óleo residual de fritura em biodiesel (ésteres metílicos).

A reação de transesterificação metílica do óleo residual de fritura, foi conduzida em reator de aço inox acoplado a uma chapa aquecedora em presença dos catalisadores em estudo, temperatura de 160°C, sob agitação constante de 1000 RPM, durante os tempos reacionais de 1, 2, 3 e 4h. Nestas reações

típicas foram utilizadas as razões molares de óleo residual de fritura/metanol 1:20, respectivamente, correspondendo a 10g de óleo residual de fritura, 7,41 g de metanol e 0,4g de catalisador (4% em massa). Os testes foram realizados no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos (LabSMaC) da UAEMa/UFCG e foram conduzido em um reator de aço inox, o qual encamisa um copo de borosilicato de volume útil de 80 mL, pressurizado, composto de um duto para entrada de termopar e acoplado a um manômetro. A agitação e o aquecimento do sistema foram promovidos por uma placa de aquecimento e agitação magnética.

O produto obtido na reação de transesterificação foi lavado com água destilada e centrifugado por 30 minutos numa rotação de 2500 rpm. Por fim, a fase orgânica purificada foi conservada em geladeira, para posterior caracterização.

### 2.5. Caracterização do biodiesel

Os produtos obtidos na reação de esterificação foram analisados em cromatógrafo a gás Varian 450c com detector de ionização de chamas (FID), coluna capilar de fase estacionária VarianSelect Biodiesel Glycerides + RG (Ultimetal) (15 m x 0,32 mm x 0,45 µm), como ilustrado na Figura 15, do LabSMaC da UAEMa/UFCG. A temperatura inicial para a injeção foi de 100

°C e a do forno foi de 180 °C. O detector opera na temperatura de 380 °C.

As amostras foram pesadas (cerca de 50 mg) em frasco de 10 mL e posteriormente diluídas com n-hexano 97% padrão UV/HPLC. Logo em seguida injetadas, com auxílio de uma microseringa de 1 µL (microlitro) da solução preparada (amostras + solvente).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Difração de raios X (DRX)

A Figura 1 ilustra os difratogramas de raios X dos catalisadores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , resultante da reação de combustão e utilizando a impregnação por via úmida, usando como fonte precursora o hidróxido de potássio (KOH).

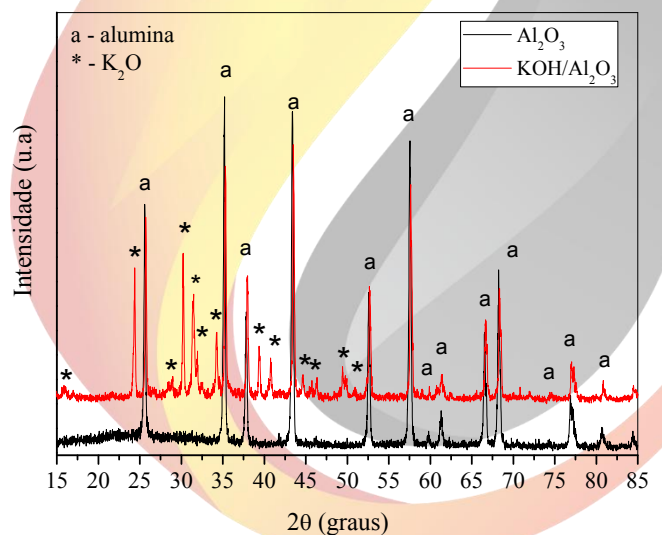


Figura 1: Difratogramas de raios X do suporte catalítico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e do catalisador ( $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Por meio da Figura 1, podemos observar a presença da fase cristalina estável  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ficha padrão JCPDS 89-7717). Observa-se também para o processo de impregnação utilizado, a segunda fase formada de  $\text{K}_2\text{O}$  (óxido de potássio) (ficha padrão JCPDS 26-1327). Quando comparamos os difratogramas do catalisador  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$  com o catalisador  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , observa-se uma diminuição da intensidade dos picos. Estes resultados estão de acordo com os relatados por Xie et al., [2006] e Noiroj et al., [2009].

### 3.2. Análise química por fluorescência de raios X por energia dispersiva – EDX

O catalisador  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$  teoricamente é composto por 0,5 mol de  $\text{K}_2\text{O}$  e 1 mol de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Usando a massa molecular de cada elemento tem-se que 1 mol do catalisador  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$  possui 28,7% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 71,3% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os percentuais de óxidos presentes nas amostras de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , e impregnadas  $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Tabela 1: Valores percentuais de óxidos presentes nas amostras.

Amostras	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{K}_2\text{O}$ (%)	*Impurezas (%)
Teórico	71,3	28,7	-

$\text{Al}_2\text{O}_3$	99,6	-	0,4
$\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$	71,1	28,2	0,7

\*Impurezas:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}$ .

Os resultados mostram que os percentuais experimentais do óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) contido nas amostras, apresentaram valores próximos aos obtidos teoricamente, indicando que a reação manteve-se próxima a estequiometria prevista teoricamente para os óxidos.

### 3.3. Análise Textural - Adsorção de Nitrogênio

Nas figuras 2 e 3 encontram-se ilustradas as isotermas de adsorção/dessorção de  $\text{N}_2$  a 77 K, como resultado da caracterização textural das amostras de alumina pura ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e impregnada ( $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

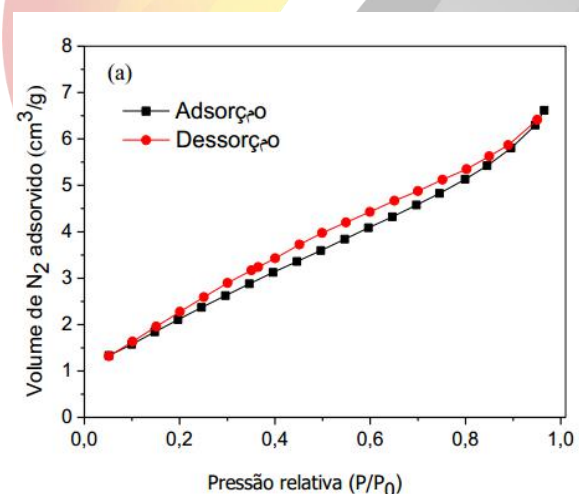


Figura 2: Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio do suporte catalítico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

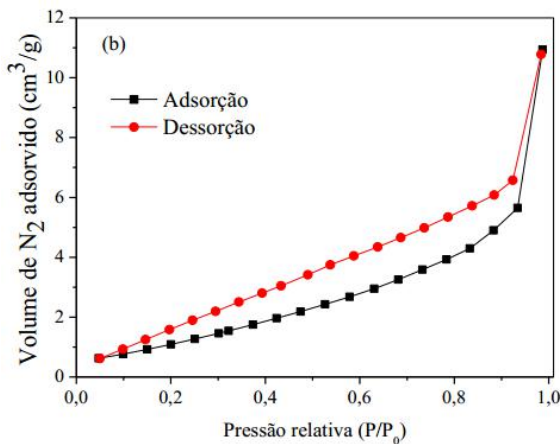


Figura 3: Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio do catalisador ( $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Todas as isotermas obtidas podem ser classificadas como tipo IV, de acordo com a classificação da IUPAC [SING et al., 1985], o que indica que estes catalisadores são materiais de natureza mesoporosa, com diâmetro médio dos poros entre 2 e 50 nm. O loop de histerese apresentado nestas isotermas, em ambos os casos entre 0,45 e 0,95  $P/P_0$ , é do tipo H3, o que também nos revela a presença de poros de dimensão mesoporosos, formado pela associação de agregados não rígidos de partículas [FIGUEIREDO e RIBEIRO, 1987; SING et al. 1985].

Na tabela 2 encontram-se os valores de área superficial específica ( $S_{\text{BET}}$ ), tamanho de partícula ( $D_{\text{BET}}$ ), volume do poro ( $V_p$ ) e diâmetro do poro ( $D_p$ ), referente às amostras de alumina pura ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e impregnada ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{KOH}/$ ).

Tabela 2: Valores de área superficial específica ( $S_{\text{BET}}$ ), tamanho de partícula ( $D_{\text{BET}}$ ), volume de poro ( $V_p$ ) e diâmetro de poro ( $D_p$ ) das amostras de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pura e impregnadas com o KOH.

Amostras	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$
$S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	5,07	4,91
$D_{\text{BET}}^*$ (nm)	297	307
$V_p$ ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	0,009	0,015
$D_p$ (nm)	3,41	3,32

\* $D_{\text{BET}}$  calculados a partir dos dados da área superficial.

Os dados apresentados na tabela 2, revelam que houve uma redução de 3,2% na área superficial específica da amostra impregnada ( $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com relação ao suporte catalítico ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), que segundo Noiroj et al., [2009], a perda de área superficial no catalisador possui impacto menor do que a perda de espécies ativas do mesmo. Ainda por meio da tabela, observa-se que para os catalisadores estudados o diâmetro médio dos poros está de acordo com a literatura (2,5 e 50 nm). Materiais com este tamanho de poros são considerados materiais mesoporosos, confirmando assim as curvas das isotermas das figuras 2 e 3.

Um fator também que influenciou o tamanho da partícula foi o processo de impregnação acrescido de calcinação, visto



que a temperatura promoveu ao crescimento dos cristais, associado com o íon adsorvido na superfície das partículas. Isto reduz a área de superfície e aumenta o tamanho da partícula, consequentemente diminui o tamanho e o volume dos poros.

### 3.4. Testes catalíticos de bancada

Os testes catalíticos de bancada foram executados por meio do processo de transesterificação do óleo residual de fritura via rota metílica com a finalidade de avaliação do desempenho catalítico antes e pós-impregnação.

A tabela 3 apresenta os resultados alcançados mediante a utilização das amostras estudadas como catalisadores na reação de transesterificação metílica do óleo residual de fritura.

De acordo com a tabela 3, observou-se que a alumina não impregnada apresentou baixa atividade catalítica. No entanto, quando o composto de potássio foi impregnado sobre a alumina e ativados a altas temperaturas, os catalisadores suportados mostraram atividades catalíticas. Assim é essencial suportar o composto de potássio na alumina para produzir as atividades catalíticas para a reação de transesterificação, como observou Xie e Li [2006] no estudo sobre alumina suportada com iodeto de potássio como catalisador

heterogêneo para produção de biodiesel a partir de óleo de soja.

Tabela 3: Dados da taxa de conversão em éster metílico obtidos com 1,2,3 e 4 horas (h) de reação.

Amostras	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	KOH/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1h	79,72	90,33
2h	85,85	97,55
3h	66,28	95,43
4h	70,07	97,46

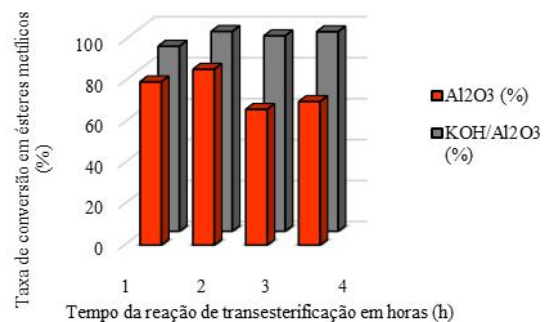


Figura 4: Taxa de conversão em ésteres metílicos (%) considerando o tempo de reação de 1 a 4 horas.

## 4. CONCLUSÕES

O método de síntese da reação de combustão se mostrou bastante eficaz, visto que foi possível se obter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sintetizada por um processo rápido, econômico e bastante eficaz, usando ureia como combustível e

recipiente com capacidade de produção de 10 gramas bateladas do produto.

As impregnações foram feitas com sucesso, pois não alteraram significativamente a estrutura característica da alumina. Os resultados apresentaram a presença da fase cristalina estável  $Al_2O_3$  e após a impregnação a segunda fase formada de  $K_2O$  (óxido de potássio)

As caracterizações do produto reacional atestaram a formação do biodiesel com as qualidades estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), podendo classificar o biodiesel obtido com o catalisador impregnado por via úmida como o mais qualificado comparado ao obtido com o catalisador puro ( $\alpha-Al_2O_3$ ).

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e a todos que fazem parte do Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos (LabSMaC) da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, onde parte do projeto foi desenvolvido e realizado, por todo apoio e contribuição.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional do Petróleo. Disponível em <[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml)> Data de acesso: Abril de 2016.

BARRETT, E. P.; JOIYNER, L. G.; HALENDA, P. P. **The determination of pore volume and area distributions in porous substances I. Computations from Nitrogen Isotherms.** Journal of American Chemistry Society, v. 73, p. 373-380, 1953.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. **Adsorption of gases in multimolecular layers.** Journal of the American Chemical Society, v. 60, p. 309-319, 1938.

ENCARNAÇÃO, A. P. G.; *Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica.* 2008, 164p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Rio de Janeiro, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro- RJ.

FANGRUI, M.; MILFORD, A.H. *A produção de biodiesel: uma revisão.* Bioresource Technol 1999; 70: 1-15.



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

FELIZARDO, P.; CORREIA, M. J. N.;  
RAPOSO, I.; MENDES, J. F.; BERKEMEIR,  
R.; BORDADO, J. M. *Production of  
biodiesel from waste frying oils*. Waste  
Management, v. 26, p. 487-494, 2006.

FIGUEIREDO, I. L. E; RIBEIRO, F. **Catalise  
Heterogênea**, Fundação Calouste Gulbenkian,  
1987.

IGNATIOS, M. *Um governo autossuficiente*.  
Gazeta Mercantil, 11 maio 2006, p. A-3.

JAIN, S. R.; ADIGA, K. C.; VERNEKER, P.  
*A new approach to thermochemical  
calculation of condensed fuel-oxidizer  
mixture*. Combustion and Flame, v.40, p 71-  
79, 1981.

KIM, H.J.; KANG, B.S.; KIM, M.J.; PARK,  
Y. M.; KIM, D.K.; LEE. K.Y.  
*Transesterification of vegetable oil to  
biodiesel using heterogeneous base catalyst*.  
Catalysis Today, v. 93, p. 315-320, 2004.

NOIROJ, K.; INTARAPONG, P.;  
LUENGNARUEMITCHAI, A.; JAI-IN, S. A  
**comparative study of KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and  
KOH/NaY catalysts for biodiesel  
production via transesterification from  
palm oil**. Renewable Energy, v. 34, p. 1145-  
1150, 2009.

REED, J. S. **Principles of ceramics  
processing**. New York: John Wiley & Sons,  
1996.

SING, K. S. W.; EVERETT, D. H.; HAUL, R.  
A. W.; MOSCOU, L.; PIEROTTI, R. A.;  
ROUQUEROL, J.; SIEMIENIEWSKA, T.  
**Reporting Physisorption Data for  
Gas/Solid Systems with Special Reference  
to the Determination of Surface Area and  
Porosity**. Pure and Applied Chemistry.  
IUPAC Recommendations, v. 57, n. 4, p. 603-  
619, 1985.

SIQUEIRA, W. C. *Utilização de misturas de  
óleo diesel e óleo de soja reutilizado em um  
trator agrícola de pneus*. 2010, 138p.  
Dissertação de mestrado. Universidade  
Federal de Viçosa. Programa de pós-  
graduação em Engenharia Agrícola. Minas  
Gerais – MG.

SUPPES, G.J.; DASARI, M. A.;  
DOSCKOCIL, E.J.; MANKADY, P. J.;  
GOFF, M. *Transesterification of soybean oil  
with zeolite and metal catalysts*. Applied  
Catalysis A: General, v. 257, p. 213-223,  
2004.

TSAI, W. T.; LIN, C.; YEH, C. *An analysis  
of biodiesel fuel from waste edible oil in*

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

*Taiwan*. Renewable and Sustainable Energy  
Reviews, v. 11, p. 838-857, 2007.

WATKINS, R.S.; LEE, A. F.; WILSON, K.  
*Li-CaO catalyzed tri-glyceride  
transesterification for Biodiesel applications.*  
Green Chemistry, 6, p. 335-340, 2004.

XIE, W.; LI, H. *Alumina-supported  
potassium iodide as a heterogeneous catalyst  
for biodiesel production from soybean oil*  
Journal of Molecular Catalysis A: Chemical,  
v. 255, p. 1-9, 2006.

XIE, W.; PENG, H. CHEN, L.  
*Transesterification of soybean oil catalyzed  
potassium loaded on alumina as a solid-base  
catalyst.* Applied Catalysis A: General, v. 300,  
p. 67-74, 2006.

ZAHER, F. A.; MEGAHEDE, O. A.; EL  
KINAWY, O. S. *Utilization of used frying oil  
as diesel engine fuel.* Energy Sources, v. 25,  
p.819-826,2003.



[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)