

TRATAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DO BIODIESEL A PARTIR DE FOTOCATÁLISE SOLAR HETEROGÊNEA

Islanny Larissa Ouriques Brasileiro¹, Vivian Stumpf Madeira², Elson Santos da Silva³, Maria Luisa Rodrigues de Almeida Ramalho⁴, Romário Ewerton Lira de Abreu⁵

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química - islannylarissa@hotmail.com

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química - eqvsm@yahoo.com.br

³ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Eng. de Energias Renováveis - elsonsaneamento33@gmail.com

⁴ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química - marialuisa.ramalho1@gmail.com

⁵ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química - rewerton8@gmail.com

RESUMO

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) compreendem um conjunto de tecnologias que são eficientes para a remoção de compostos orgânicos recalcitrantes presentes em solução. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da fotocatálise heterogênea através da irradiação da luz solar no tratamento da água de lavagem proveniente da produção do biodiesel. Para tanto, o semicondutor utilizado foi o TiO₂ comercial (P25-Degussa). Os ensaios de fotocatálise solar heterogênea foram realizados com a introdução de oxigênio e agitação constantes e os seguintes parâmetros foram variados: o pH do efluente de biodiesel e a concentração de sólidos. Além disso, os efeitos da utilização do peróxido de hidrogênio e a realização de um pré-tratamento no efluente, antes do ensaio de fotocatálise, também foram avaliados. O melhor resultado na degradação da DQO do efluente de biodiesel foi obtido com TiO₂ a uma concentração de 1 g/L e pH = 2, com eficiência de remoção em torno de 46 %.

Palavras-chave: Fotocatálise Solar Heterogênea, Água de Lavagem do Biodiesel, Dióxido de Titânio, DQO.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da demanda energética mundial provém de fontes de energia não renováveis, tais como o petróleo e o carvão mineral. A crise energética na década de 1970 causou uma consciência mundial da valorização e conservação de energia, devido aos aumentos sucessivos do preço do barril de petróleo e sua provável escassez. Tornava-se,

então, necessário desenvolver tecnologias em busca de combustíveis não convencionais e renováveis para conter a crise: os biocombustíveis [BRAGA, 2012].

O processo típico de produção de biodiesel se baseia na reação de transesterificação realizada na presença de um

catalisador alcalino ou ácido [VELJKOVIĆ et al., 2014].

Muito embora seja um recurso renovável e menos agressivo ao meio ambiente, quando comparado ao diesel de petróleo, o processo de produção do biodiesel gera uma grande quantidade de efluente proveniente, principalmente, da etapa de purificação. A finalidade desse processo é a de remover os resíduos de sabões de sódio ou potássio, além dos ácidos graxos, glicerina, álcoois (metanol ou etanol) e outros contaminantes, garantindo a qualidade do biodiesel produzido. O efluente gerado é inadequado para o lançamento no meio ambiente e necessita de um tratamento para enquadrar a qualidade do mesmo às normas e padrões estabelecidos para o descarte ou para o reuso do mesmo [GUIMARÃES, 2015].

Por essa razão, diversos tratamentos têm sido estudados, com destaque para os processos físico-químicos e os processos oxidativos avançados (POAs), em particular a fotocatalise heterogênea.

A fotocatalise heterogênea constitui-se em uma tecnologia eficiente para a remoção de matéria orgânica recalcitrante presente em solução aquosa. A sua grande vantagem é que durante o tratamento os poluentes são destruídos e não apenas transferidos de uma fase para outra como ocorre em alguns

processos de tratamento convencionais [FERREIRA, 2005].

O princípio deste tratamento envolve a ativação de um semicondutor por irradiação ultravioleta (UV) e consequente geração dos radicais hidroxila (*OH), que são substâncias com alto poder oxidante [FERREIRA, 2005; FRANCISCO, 2009]. Neste estudo, empregou-se a irradiação solar, por se tratar de um recurso renovável e abundante no Brasil, em especial na região Nordeste.

Dentre os óxidos metálicos semicondutores, o dióxido de titânio (TiO_2) é o mais utilizado na fotocatalise heterogênea por apresentar as seguintes características: natureza não tóxica, baixo custo, insolubilidade em água, foto-estabilidade, estabilidade química em ampla faixa de pH e possibilidade de imobilização sobre sólidos [FERREIRA, 2005; FRANCISCO, 2009]. No entanto, é necessário que seja irradiado por luz UV, na faixa de 388 nm, para que adquira uma energia de *bandgap* de 3 a 3,2 eV [MACHADO; SANTANA, 2005].

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência da fotocatalise solar heterogênea no tratamento do efluente ácido proveniente da lavagem do biodiesel utilizando o TiO_2 comercial (P25) como catalisador.

2. METODOLOGIA

O efluente de biodiesel utilizado neste trabalho foi fornecido pela Petrobras Biocombustível (PBio), unidade de Quixadá/CE. A realização dos experimentos descritos nesta seção se deu no Laboratório de Cromatografia e Quimiometria Aplicada (LACQUA), localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa/PB.

O parâmetro escolhido para realizar um acompanhamento de degradação a partir da fotocatalise solar heterogênea foi a demanda química de oxigênio (DQO). Muito embora a Resolução nº 430/2011 do CONAMA não estabeleça um valor máximo permissível para esse parâmetro no efluente, ela exige que todo efluente antes de ser lançado em um corpo receptor seja tratado adequadamente e, assim, não exceda as condições de qualidade da água do rio.

2.1. Determinação da DQO

A metodologia utilizada para a determinação da DQO proposta pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [1999], consiste de um método colorimétrico, denominado de refluxo fechado.

Inicialmente, adicionaram-se aos tubos de ensaio 1,5 mL da solução digestora composta de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), ácido sulfúrico (H_2SO_4), sulfato de mercúrio ($HgSO_4$) e água destilada, 2,5 mL do efluente e 3,5 mL da solução catalisadora composta por sulfato de prata (Ag_2SO_4), ácido sulfúrico e água destilada. Os tubos foram vedados com tampa e as amostras homogeneizadas no Vortex. Após completa mistura, as amostras foram colocadas para digerir em um bloco digestor a 150 °C por 2 horas.

Por fim, foram resfriadas à temperatura ambiente e as leituras de absorvância foram efetuadas no comprimento de onda de 600 nm em um espectrofotômetro portátil, próprio para análise de DQO, DR 1900, da HACH, tomando o cuidado de zerar o equipamento com o branco preparado com água destilada.

As concentrações de todas as amostras com concentrações desconhecidas foram determinadas a partir de uma curva de calibração obtida através de soluções de biftalato de potássio (KHP) de DQO's conhecidas.

2.2. Ensaio de fotocatalise

Os ensaios fotocatalíticos foram realizados utilizando-se o efluente gerado durante o processo de produção do biodiesel. Esse efluente foi filtrado preliminarmente



II CONEPETRO

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

para a remoção dos sólidos suspensos, os quais poderiam interferir no acompanhamento da cinética de degradação da DQO. Foi aplicado nos testes o TiO_2 comercial (P25 Degussa) (Figura 1), variando-se os seguintes parâmetros: primeiramente, o pH do efluente de biodiesel (entre 2 e 5) e, em seguida, a concentração do catalisador (de 0,5 a 2,5 g/L). Além disso, o efeito da adição do H_2O_2 foi avaliado e um pré-tratamento físico químico no efluente de biodiesel antes da fotocatalise também foi realizado.

A fotocatalise solar heterogênea foi realizada em batelada, com o sólido em suspensão, agitação constante, vazão de oxigênio de 0,5 L/min e com duração de 240 min compreendida no intervalo de 10:00 às 14:00hs, horário de maior incidência de irradiação solar. Alíquotas das amostras eram coletadas em intervalos de tempo pré-determinados, as amostras eram centrifugadas e a degradação do efluente foi estudada mediante a redução da DQO.

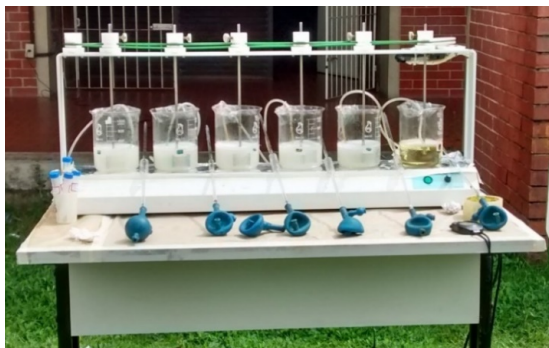


Figura 1: Ensaio de fotocatalise solar.

2.3. Pré-tratamento do efluente

Como uma forma de analisar se a realização de um pré-tratamento físico-químico no efluente em estudo teria alguma influência positiva nos resultados de degradação da DQO após o processo de fotocatalise (haja vista que, na prática, a fotocatalise deve ser aplicada como um tratamento terciário), foi realizado um ensaio de coagulação e floculação no efluente bruto. O intuito de realizar esse pré-tratamento no efluente foi o de remover parte da gordura e dos sais que porventura possam comprometer a eficiência de degradação da DQO durante a fotocatalise. Para tanto, foram avaliados três tipos diferentes de coagulantes mais comumente utilizados no tratamento de efluentes: o cloreto férrico (FeCl_3), o sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) e o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e comparadas as suas eficiências.

Foram preparadas soluções de cada um desses coagulantes em concentrações comerciais (40,5 % para o FeCl_3 , 42 % para o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ e 7,5 % para o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e, a partir delas, volumes diferentes foram adicionados ao efluente, de modo que as concentrações de Fe^{3+} e Al^{3+} fossem 60 mg/L.

A metodologia utilizada nos experimentos foi baseada no procedimento de descrito por Richter [2009], como segue: inicialmente, colocou-se 500 mL de efluente em cada béquer. A agitação do aparelho foi

www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

ligada na máxima velocidade (que para o aparelho utilizado era de 180 rpm). Adicionaram-se as doses de coagulante em cada jarro ao mesmo tempo, ou o mais rápido possível (coagulação). O pH de cada solução foi medido e ajustado para valores entre 6,5 e 7,0. Após o ajuste do pH, a agitação máxima foi mantida por um minuto. A rotação do aparelho foi reduzida para 50 rpm por 15 minutos (floculação). Por fim, o aparelho foi desligado e as soluções foram mantidas em repouso para separação sólido/líquido por decantação.

Utilizou-se o sobrenadante obtido com o melhor resultado desse pré-tratamento em um ensaio de fotocatalise solar heterogênea nas melhores condições encontradas de pH e concentração de sólidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios de fotocatalise solar heterogênea variando-se o pH do efluente e a concentração do TiO_2 . Além disso, estão apresentadas a avaliação da influência do peróxido de hidrogênio, da realização de um pré-tratamento no efluente e a avaliação da fotodegradação dos componentes puros do efluente em estudo.

3.1. Variação no pH do efluente

Primeiramente foi realizado um teste com TiO_2 a uma concentração de sólido de 0,5 g/L e pH do efluente de biodiesel variando entre 2 e 5. A Figura 2 mostra a eficiência na degradação da DQO em diferentes valores de pH, em função do tempo.

É possível perceber que para a concentração de sólido estabelecida em 0,5 g/L, à medida que o pH da solução diminui, a capacidade de degradação da DQO aumenta, obtendo-se uma porcentagem máxima de remoção de 34 % em $pH = 2$.

A oscilação encontrada no início dos experimentos deve estar associada às reações de oxidação e redução que são ativadas pela presença de luz visível. Estas reações, por sua vez, influenciam na análise de DQO.

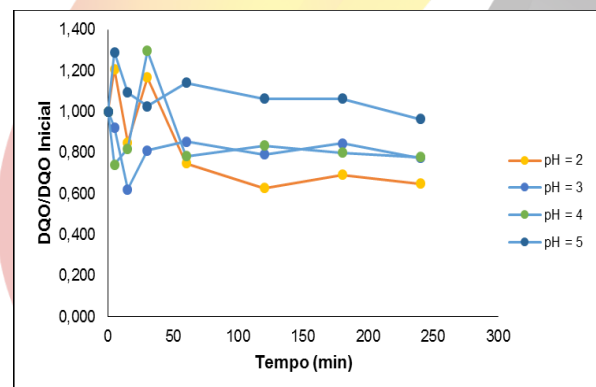


Figura 2: Eficiência de degradação fotocatalítica com variação do pH da amostra e concentração de catalisador (TiO_2) de 0,5 g/L.

3.1.1. Avaliação da influência do H_2O_2



II CONEPETRO

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

Como uma tentativa de se aumentar a eficiência na degradação da DQO do efluente de biodiesel por fotocatalise solar heterogênea, o peróxido de hidrogênio foi adicionado. O mesmo é um importante acceptor de elétrons nos processos oxidativos avançados e, geralmente, aumenta a taxa de degradação.

Sabendo-se que o H_2O_2 interfere nas análises de DQO, foi realizado um ensaio com uma baixa concentração desse reagente (25 mg/L). Além disso, a concentração do TiO_2 foi mantida constante em 0,5 g/L e o pH do efluente de biodiesel foi ajustado para 2. A Figura 3 mostra o resultado obtido para esse ensaio com e sem H_2O_2 .



Figura 3:
Avaliação do efeito da adição de H_2O_2 na eficiência de degradação fotocatalítica da amostra de TiO_2 a 0,5 g/L e pH = 2.

Percebe-se que a remoção da DQO foi de 25 % para a solução sem H_2O_2 e aproximadamente 24 % para a solução com

H_2O_2 . Ou seja, para esta faixa de concentração de peróxido, o mesmo não exerceu nenhuma influência sobre a taxa de degradação da DQO.

Comparando-se as eficiências de degradação do ensaio sem H_2O_2 (11,8 %), realizado no dia 05/05, mostrado na Figura 21 com a obtida para as mesmas condições no ensaio variando-se o pH da solução (34 %), realizado no dia 26/04, mostrado na Figura 18, percebe-se que houve uma diferença de 22,2 % nos resultados obtidos (Figura 4). Esse fato pode ser justificado pela intensidade da radiação solar incidente nos dias que esses experimentos foram realizados, uma vez que segundo o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), a média da radiação solar incidente no horário dos experimentos foi, para o dia 26/04 de 2723,75 KJ/m², ao passo que para o dia 05/05, de 2696,5 KJ/m².

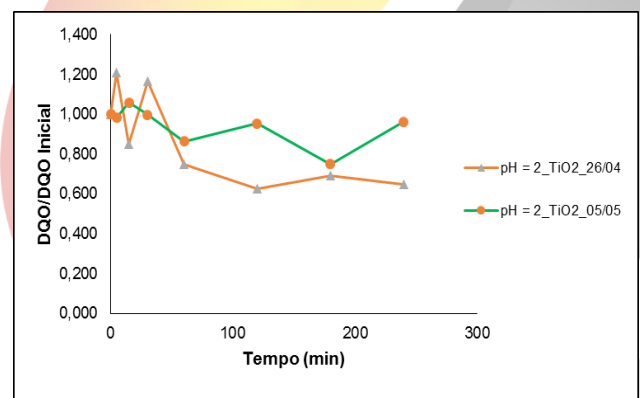


Figura 4: Comparação das eficiências de degradação fotocatalítica do TiO_2 em pH = 2 e 0,5 g/L para os dias 26/04 e 05/05.

3.2. Variação na concentração do TiO_2

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

A partir da definição do pH ótimo a ser utilizado para o tratamento do efluente de biodiesel (pH = 2) e, sabendo-se que a adição de H₂O₂ na faixa de concentração utilizada não teve influência positiva na % de degradação da DQO, realizaram-se os ensaios de fotocatalise solar heterogênea variando-se a concentração do TiO₂ entre 0,5 e 2,5 g/L (Figura 5).

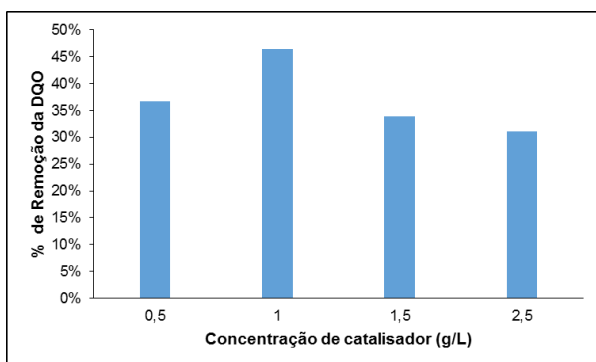


Figura 5: Eficiência de degradação fotocatalítica com variação da concentração do TiO₂ em pH = 2.

Com base nos resultados obtidos, nota-se que o aumento da concentração de TiO₂ provocou uma discreta melhora na eficiência de degradação da DQO, apresentando uma porcentagem máxima de remoção de aproximadamente 46 % para uma concentração de 1 g/L.

Embora este resultado de degradação da DQO do efluente do biodiesel não seja satisfatório, está em concordância com o trabalho publicado por Veljković e colaboradores [2014] o qual afirmaram que a

fotocatálise heterogênea com TiO₂ não é uma tecnologia apropriada para o tratamento deste tipo de efluente. Em contraponto, Nascimento [2013] atingiu uma remoção em torno de 71 % da DQO de um efluente sintético de lavagem do biodiesel com o mesmo catalisador utilizando luz solar.

3.3. Pré-tratamento do efluente

A Tabela 1 apresenta as porcentagens de remoção da DQO, em comparação com o efluente bruto, para os três coagulantes utilizados no tratamento físico-químico. Destaca-se, neste caso, que não foram avaliadas outras dosagens dos coagulantes utilizados, utilizou-se somente um valor fixo de 60 mg/L do cátion metálico (tomado com referência outros tratamentos de efluentes), e um pH fixo de 6,5 a 7,0.

Tabela 1: Comparação das porcentagens de remoção da DQO para os coagulantes estudados.

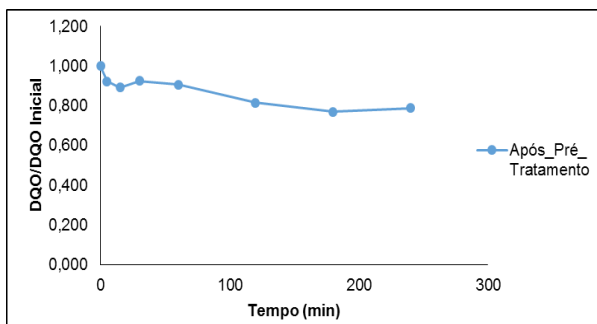
Coagulantes	DQO (mg/L)	Remoção (%)
Efluente bruto	3482,5	0
FeCl ₃	3282,5	5,743
Fe ₂ (SO ₄) ₃	3432,5	1,435
Al ₂ (SO ₄) ₃	2970	14,716

Para este pré-tratamento realizado, a maior capacidade de remoção da DQO do

efluente de biodiesel foi obtida utilizando-se como coagulante o sulfato de alumínio, apresentando 14 % de remoção da DQO.

Após o tratamento físico-químico, o sobrenadante obtido com o uso do $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante foi submetido a um ensaio de fotocatalise solar heterogênea utilizando-se o TiO_2 a uma concentração de sólido de 1 g/L e $pH = 2$. A cinética de remoção da DQO está apresentada na Figura 6.

A partir dos resultados obtidos, percebe-se que não foi alcançada uma melhora na porcentagem de remoção da DQO com o pré-tratamento do efluente, se comparado com os resultados anteriores, ficando em torno de 22 % de remoção somente na etapa de fotocatalise.



3.4. Avaliação da fotodegradação dos componentes puros

Tendo em vista que os resultados obtidos para a degradação da DQO não foram plausíveis a fim de justificar a aplicação da

Figura 6: Eficiência de degradação fotocatalítica após pré-tratamento do efluente, utilizando-se TiO_2 a 1 g/L e $pH = 2$.

A Figura 7 apresenta uma comparação entre a DQO do efluente bruto, a DQO após o pré-tratamento físico-químico do efluente e a DQO após o tratamento físico-químico e a fotocatalise solar heterogênea.

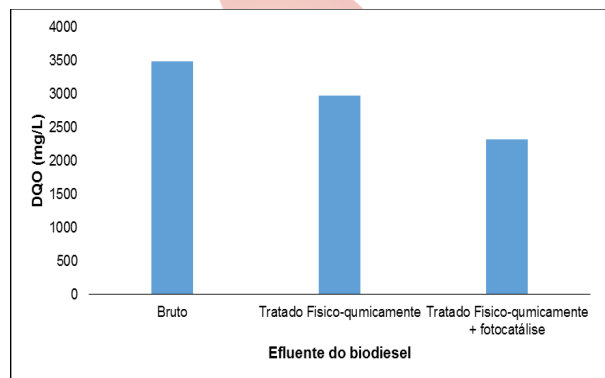


Figura 7: Comparação entre as DQO's do efluente bruto, após o pré-tratamento físico-químico do efluente e após o tratamento físico-químico com a fotocatalise solar heterogênea.

fotocatalise solar heterogênea como tratamento terciário do efluente do biodiesel, foi verificado o comportamento dos principais componentes do efluente, metanol e glicerina, separadamente, em um ensaio de fotocatalise solar heterogênea, partindo-se de soluções

padrões. O objetivo deste ensaio foi verificar se, individualmente, o catalisador consegue degradar esses constituintes, e, neste caso, se a presença de sais em elevada concentração, tais como Na_2SO_4 , estaria inibindo as reações fotocatalíticas.

Para tanto, foram preparadas uma solução aquosa de metanol e outra de glicerina tomando-se como base os valores da Tabela 2 e, em seguida, foi realizado o tratamento da fotocatalise solar heterogênea, nas condições ideais.

Tabela 2: Composição para 1 L de efluente.

Substâncias	Quantidades (mL)
Glicerina	10
Metanol	25

Fonte: NASCIMENTO, 2013.

A Figura 8 apresenta a eficiência de remoção da DQO tanto para o metanol quanto para a glicerina. Os resultados mostram que não foi constatada nenhuma remoção significativa do parâmetro em estudo para cada componente avaliado.



Figura 8: Eficiência de degradação fotocatalítica das soluções de metanol e glicerina, utilizando-se TiO_2 a 1 g/L e $\text{pH} = 2$.

A Tabela 3 apresenta alguns trabalhos publicados que utilizaram a fotocatalise heterogênea para a degradação de contaminantes orgânicos e as respectivas estruturas moleculares desses contaminantes.

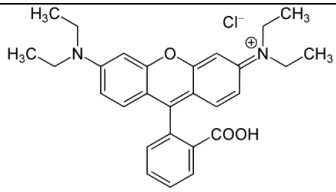
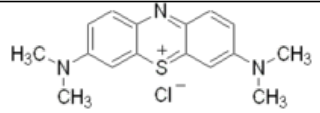
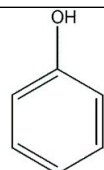
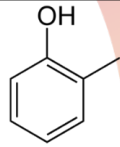
Tabela 3: Alguns trabalhos que utilizaram a fotocatalise heterogênea, os compostos degradados e suas respectivas estruturas moleculares.

Trabalhos publicados	Compostos degradados	Estruturas moleculares



II CONEPETRO

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

Mahadik et al. (2013)	Rodamina B	
Xiong et al. (2011)	Azul de metileno	
Mazille et al. (2010)	Fenol	
Chen et al. (2007)	o-cresol	

Todos esses trabalhos apresentados obtiveram uma elevada eficiência de remoção dos compostos em estudo. Isso deve ter ocorrido pois, segundo Pereira et al. [2011], os anéis aromáticos são primeiramente atacados pelo radical hidroxila, promovendo a degradação dos compostos. Por essa razão, a não degradação do metanol e da glicerina nos experimentos apresentados neste trabalho.

4. CONCLUSÕES

A fotocatalise heterogênea consiste de uma tecnologia eficiente para a remoção de matéria orgânica presente em solução. No entanto, esse processo não apresentou uma eficiência significativa na remoção da DQO

do efluente proveniente da água de lavagem do biodiesel, sendo o melhor resultado obtido nos experimentos com TiO_2 de 46 % de remoção da DQO a uma concentração de 1 g/L e $\text{pH} = 2$.

Por fim, conclui-se que a intensidade da irradiação solar tem grande influência sobre a eficiência da fotocatalise solar heterogênea, e, por isso, um tratamento em escala industrial utilizando este método deve prever dias ensolarados e dias nublados. Neste caso, alternativas devem ser previstas no projeto, tais como bacias de amortecimento e/ou outras alternativas de tratamento como adsorção em carvão ativado, por exemplo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

BRAGA, E. A. S.; *Caracterização das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação da produção de biodiesel de óleo de tilápia*. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011*. 9 p.

CHEN, H.; KU, Y. e KUO, Y. *Effect of Pt/TiO₂ characteristics on temporal behavior of o cresol decomposition by visile light-induced photocatalysis*. Water research, v. 41, n.10, p. 2069 – 2078, 2007.

FERREIRA, I. V. L. *Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário*. 2005. 187 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

FRANCISCO, A. R. *Pós-tratamento de esgoto por fotocatalise heterogênea solar antes e após filtração lenta*. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2009.

GUIMARÃES, S. G. M.; BRITO, F. A. N. GALVÃO, L. P. F. C. *Tratamento do efluente*

gerado na produção de biodiesel utilizando os processos oxidativos avançados – fotofenton- em luz artificial. In: I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – III Workshop de Engenharia de Petróleo, 2015, Campina Grande/PB. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2015.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTMMyMA=%3D>. Acesso em junho de 2016.

MACHADO, N. R. C. F.; SANTANA, V. S. *Influence of thermal treatment on the structure and photocatalytic activity of TiO₂ P25*. Catalysis Today, v. 107 – 108, p. 595 – 601, 2005.

MAHADIK, M. A.; SHINDE, S. S.; RAJPURE, K. Y.; BHOSALE, C. H.; *Photocatalytic oxidation of Rhodamine B with ferric oxide thin films under solar illumination*. Materials Research Bulletin, v. 48, p. 4058 – 4065, 2013.

MAZILLE, F.; SCHOETTL, T.; KLAMERTH, N.; MALATO, S.; PULGARIN, C. *Field solar degradation of*



II CONEPETRO

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

pesticides and emerging water contaminants mediated by polymer films containing titanium and iron oxide with synergistic heterogeneous photocatalytic activity at neutral pH. Water Research. v. 44. p. 3029 – 3038, 2010.

NASCIMENTO, D. J. N. *Utilização da fotocatalise heterogênea com TiO₂ e radiação solar no tratamento de águas de lavagem do biodiesel.* 2013. 47 f. Monografia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

PEREIRA, M., C.; CAVALCANTES, L., C., D.; MAGALHÃES, F.; FABRIS, J., D.; STUCKI, J. W.; OLIVEIRA, L., C., A.; MURAD, E. *Composites prepared from natural iron oxides and sucrose: A highly reactive system for the oxidation of organic*

contaminants in water. Chemical Engineering Journal, v. 166. p. 962 – 969, 2011.

RICHTER, C. A. *Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento.* São Paulo: Blucher, 2009. 340 p.

VELJKOVIĆ, V. B.; STAMENKOVIĆ, O. S.; TASIĆ, M. B. *The wastewater treatment in the biodiesel production with alkali-catalyzed transesterification.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 32, p. 40 – 60, 2014.

XIONG, L.; SUN, W.; YANG, Y.; CHEN, C.; NI, J. *Heterogeneous photocatalysis of methylene blue over titanate nanotubes: effect of adsorption.* Journal of Colloid and Interface Science, v. 356, p. 211 – 216, 2011.

www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br