

# APLICAÇÃO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO ADSORVENTE DE HIDROCARBONETOS EM ÁGUA PRODUZIDA SINTÉTICA

Autor: Rossana Mayara Leite Sampaio; Orientador: Rodrigo César Santiago

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio grande do Norte –IFRN, EAD Curso Técnico em Segurança do Trabalho [rossana\\_sampaio@hotmail.com](mailto:rossana_sampaio@hotmail.com);  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológica, [rodrigo.santiago@ufersa.edu.br](mailto:rodrigo.santiago@ufersa.edu.br)*

A água produzida em campos maduros de petróleo, gerada ao longo da vida produtiva de um campo, vem se caracterizando como problema acentuado, considerando que é crescente a quantidade de água produzida retirada de um poço, podendo chegar a valores acima de 90% de volume de água em relação ao volume de óleo. Essa água é trazida a superfície junto ao petróleo e denota quantidades de contaminantes tóxicos em elevados valores, desse modo faz-se necessário passar por tratamento com objetivo de atender as exigências ambientais, para então ser descartada ou reutilizada. Diante do exposto, é preciso analisar que impactos estes podem causar. Buscando então, medida mitigadoras afim de reduzir os impactos negativos dos descartes dessa água no meio ambiente. Dentre diversos métodos que tem sido alvo de estudos com intuito de tratar essa água contaminada, a adsorção do óleo (hidrocarbonetos) por meio de um material adsorvente, vem apresentando bons resultados. Este trabalho teve como objetivo analisar a utilização de bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente para remoção de hidrocarbonetos em água produzida sintética. O material foi caracterizado pelas técnicas de termogravimetria, espectroscopia de absorção na região do infra-vermelho por transformada de Fourier e difração de raios-X, as quais demonstraram a heterogeneidade de sua composição, além do grande percentual de matéria orgânica, comprovando sua capacidade para adsorção de hidrocarbonetos. Para o estudo da eficiência do bagaço da cana-de-açúcar no processo de adsorção, foram realizados testes em leito-fixado onde água produzida sintética era posta em contato com o adsorvente e a capacidade adsorvente era verificada através de análises de turbidez nas soluções iniciais e finais. Os resultados obtidos demonstraram a potencialidade da utilização do bagaço da cana-de-açúcar como material adsorvente de hidrocarbonetos, chegando a remoção acima de 80% de óleo em água para concentrações de 10.000 ppm.

**Palavras-chave:** Adsorção, Água produzida, Bagaço de Cana-de-Açúcar, Turbidez.

## Introdução

A atividade petrolífera apresentou um crescimento longo no decorrer dos anos, e com ela, a necessidade de técnicas inovadoras que possam ajudar a se obter uma melhor exploração associando menor custo, menos desperdício e menos impactos ambientais. Um motivo que chama a atenção de pesquisadores há alguns anos é a grande quantidade de água produzida em campos maduros de petróleo, gerada ao longo da vida produtiva de um campo, representando a maior corrente de resíduo na produção de óleo cru. Durante a produção de um poço de petróleo a quantidade de água produzida associada ao óleo sofre uma grande variação, podendo um campo novo produzir de 5 a 15% de volume de água e, ao longo do tempo esses números podem ser ainda maiores

(83) 3322.3222

contato@joinbr.com.br

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

atingindo em torno de 75 a 90% de volume (LIMA *et al.*, 2008).

A água produzida (AP) é água aprisionada nas formações subterrâneas que é trazida à superfície juntamente com o petróleo e gás durante as atividades de produção desses fluidos (AMINI, *et al.*, 2012).

A geração da água produzida ocorre durante o processamento primário de separação que o óleo e gás passam para poderem ser comercializados. Atualmente são três as opções que dão um destino final a água produzida em campos de petróleo, a injeção (no processo de recuperação de poços no fim de sua produção), o descarte (geralmente feito em ambiente marinho) e o reuso. Para todas essas alternativas é necessário fazer um tratamento específico com objetivo de atender as exigências ambientais, operacionais ou da atividade produtiva que utilizará insumo (MOTTA *et al.*, 2013).

A composição da água produzida é influenciada pelos fatores geológicos e de localização geográfica dos reservatórios variando consideravelmente suas características físicas, químicas e biológicas (STEWART & ARNOLD, 2011 apud MOTA *et al.*, 2013). A composição do óleo também irá influenciar na qualidade da água já que óleo é um dos seus principais contaminantes.

Os principais tratamentos básicos que a água produzida pode passar são remoção de óleo residual, remoção de gases, remoção de sólidos suspensos e eliminação de bactérias, a forma do tratamento depende de algumas observações que devem ser levadas em consideração como viabilidade técnica, custos, infraestrutura, equipamentos podendo variar conforme a finalidade da água e a legislação prevista pelo CONAMA. Hoje conta com muitos tratamentos especificados conforme o componente que se deseja remover e também diversos estudos que visam novas formas de tratamentos para utilização ou reutilização da água produzida.

Entre os diversos tratamentos aplicados a água produzida, cada um tem sua significância conforme a finalidade desejada, a adsorção tem sido um tratamento bastante usado nos últimos tempos principalmente devido à utilização de adsorventes naturais oriundos de subprodutos industriais e da agricultura (CURBELO, 2002).

A disponibilidade, baixo custo e não agressão ao meio ambiente torna a biomassa um adsorvente viável. Diversos estudos têm mostrado a eficiência da adsorção nos tratamentos de efluentes contaminados por óleos, metais pesados e outras substâncias tóxicas utilizando materiais alternativos. O bagaço da cana-de-açúcar foi

empregado como adsorvente para remoção de óleo emulsionado na água produzida sintética. Este é um subproduto fibroso resultante da moagem da cana e que pode ter diversas finalidades, desde a produção de energia através da queima, até incorporação ao solo, como parte integrante da dieta bovina, e nesse estudo como possível adsorvente de turbidez.

Portanto avaliou-se a capacidade adsorvente, através de ensaios preliminar e em coluna, para soluções de 10.000 ppm, e massas de 9g e 189 g respectivamente. E a partir dos ensaios avaliar a capacidade do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente pelo método da turbidez e por análises físico-químicas.

## **Metodologia**

O procedimento inicial se deu com a preparação do material adsorvente. Para isto, foi necessária a diminuição do bagaço para granulometria desejável, próximo a 100 Mesh para garantir melhor contato com a solução sintética. Após ser cortado, o bagaço foi triturado, até atingir a granulometria desejada, associada a um pó, quanto menores as partículas do bagaço, melhor sua eficiência de absorção, e por sua vez, adsorção do óleo em água.

Para que desempenhasse bem como adsorvente, o bagaço precisou ser lavado, afim de remover todas suas impurezas solúveis, Para tanto, preparou-se a solução de NaOH (hidróxido de sódio), solução propícia a limpeza e controle de pH da água, (LIRA, 2016). Em um balão volumétrico, foram adicionados 10g de hidróxido de sódio e 500ml de água, agitando em um agitador volumétrico SL-95 por 10 minutos. Em seguida, todo o bagaço em pó foi imerso na solução de NaOH por um período de 24 horas. Após as 24 horas imerso em solução NaOH, o bagaço precisou ser filtrado e lavado novamente, até que removesse o hidróxido utilizado. Este procedimento foi realizado com a conferência do pH do meio, até que o mesmo atingisse um valor neutro. Em seguida, passou 48 horas em uma Roller Oven, para secar.

Para os testes de capacidade de remoção de óleo em água, através do bagaço de cana-de-açúcar, foi preparada solução sintética de emulsão de óleo em água com concentração 10.000 ppm. Para promover a emulsão, foi utilizado um agitador Hamilton Beach com rotação de mistura controlada. Em seguida o fluido foi submetido a teste de adsorção.

O experimento de adsorção preliminar de leito fixo, foi realizado para uma concentração de 10.000 ppm de óleo em água em contato com o material adsorvente. O ensaio em coluna foi realizado com concentração também de 10.000 ppm. Para o aparato experimental, foi improvisada uma coluna cilíndrica

em material PVC com altura de cerca de 30 cm, sendo 20 cm a parte útil utilizada para preenchimento com o bagaço da cana-de-açúcar.

Figura 1: Ensaio preliminar e ensaio em coluna.



Fonte: Próprio autor.

## Resultados e Discussão

### Análise química

A análise química das amostras de bagaço de cana-de-açúcar foi realizada pelo método de fluorescência de raios X. Os resultados obtidos de acordo com os dados da tabela 2, os componentes em quantidade mais significativas foram  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ . Devido a heterogeneidade em sua composição, o bagaço de cana-de-açúcar é um adsorvente potencial para remoção de múltiplos contaminantes.



Tabela 2: Análise química da amostra do bagaço de cana-de-açúcar por FRX

Óxido	Composição %
SO <sub>3</sub>	33,805
CaO	16,554
SiO <sub>2</sub>	15,087
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,944
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,855
Na <sub>2</sub> O	7,976
CuO	3,400
MnO	2,893
ZnO	2,485
<b>Total</b>	<b>100</b>

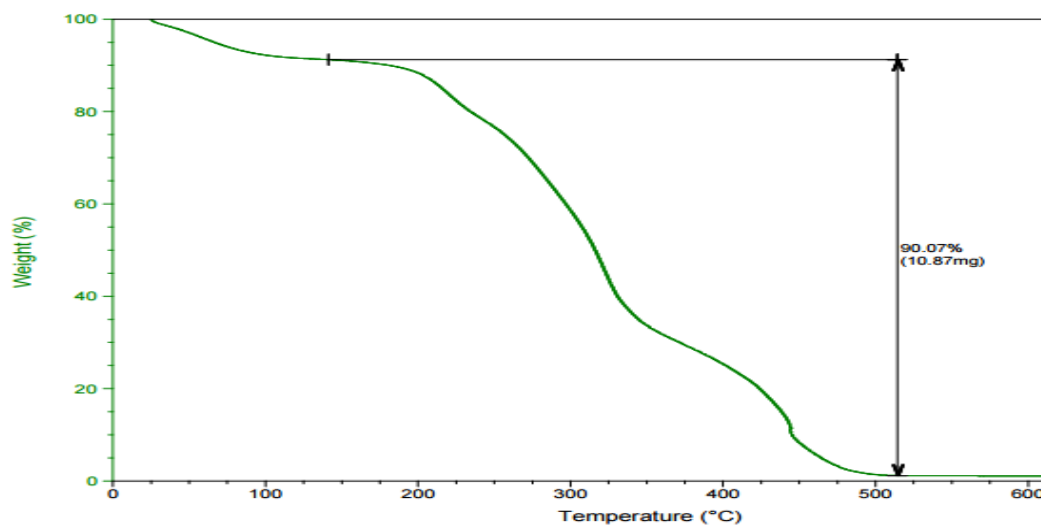
Fonte: Próprio autor

### Termogravimetria

As curvas termogravimétricas, vistas no gráfico 1, da amostra do bagaço de cana-de-açúcar são demonstradas no, que apresentou mais de uma etapa de perda de massa, que acontece no intervalo de temperatura de 150°C e 520°C, apresentando cerca de 90, 07% de eliminação de matéria orgânica.

Esta forte presença de matéria orgânica (acima de 90%) garante potencialidade de afinidade química entre o material e o óleo que será comprovada nos testes de adsorção.

Gráfico 1 - Curva termogravimétrica de Bagaço de cana-de-açúcar



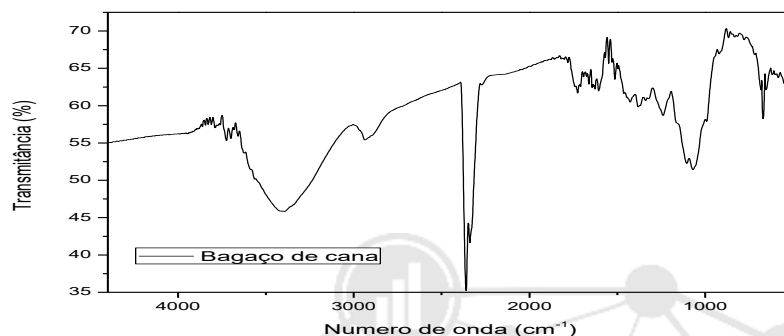
Fonte: Próprio autor

### **Espectroscopia de absorção na região do infravermelho- FTIR**

Nesta pesquisa, os grupos funcionais da amostra de bagaço de cana-de-açúcar, foram identificados através dos espectros de adsorção na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), no gráfico 2. As principais bandas identificadas na figura para os constituintes do material adsorvente serão descritas. 3400  $\text{cm}^{-1}$ , deformação axial do grupo (O-H), resultante da associação polimétrica; em 2901  $\text{cm}^{-1}$  vibrações de deformação axial do (C-H), 2303  $\text{cm}^{-1}$  é relativa as ligações (C-O) de álcoois primários (celulose), em 1693  $\text{cm}^{-1}$  característica da carbonila (C=O) da celulose.

As ligações (C-O-C) aparecem tanto na cadeia da celulose e da lignina, em 1510  $\text{cm}^{-1}$  e em 1033  $\text{cm}^{-1}$  relativa a ligações (C-O-C) da vibração do anel de piranase (celulose) (VIEIRA et al., 2007). Comprovando a grande composição de material orgânico e a variedade de grupos faz do bagaço de cana-de-açúcar um adsorvente em potencial para remoção de óleo e múltiplos contaminantes, apresentando sítios ativos para atração de compostos semelhantes

Gráfico 2: Espectro FTIR das amostras de bagaço de cana-de-açúcar

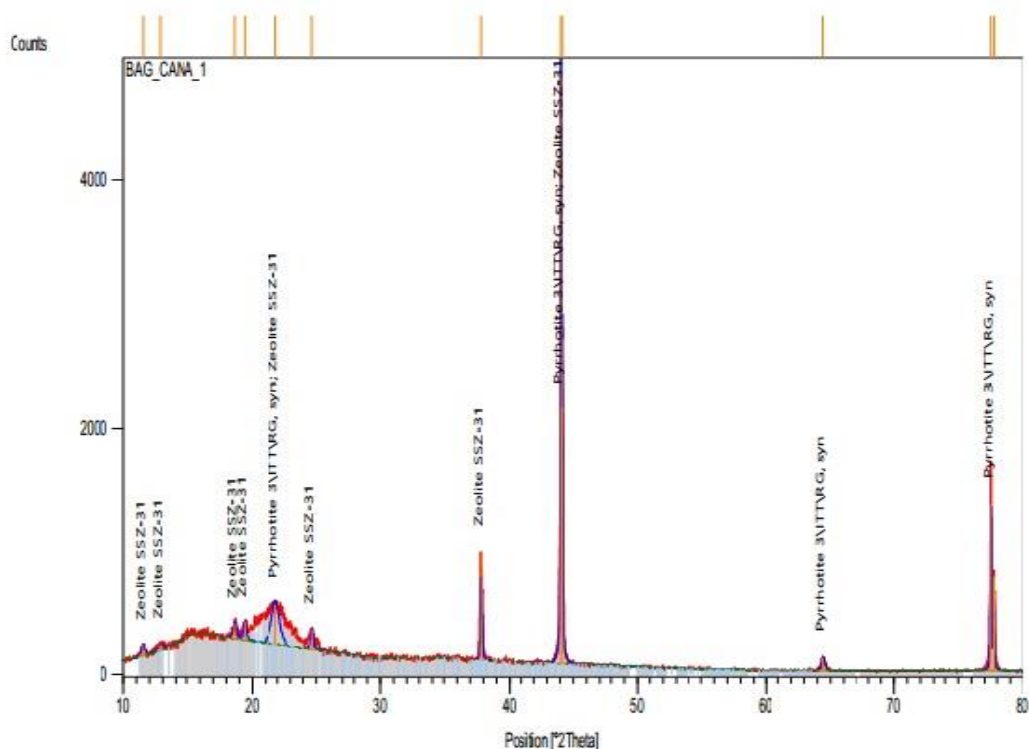


Fonte: Próprio autor

### Difração de raio-X

Para agregar valor à análise química, difratogramas da amostra do bagaço de cana-de-açúcar, na figura abaixo para identificar os principais minerais presentes na amostra. O (Gráfico 3) representa um difratograma da amostra do adsorvente, foi possível observar a difração correspondente dos seguintes minerais: Sulfeto de ferro mineral, variante de FeS, o mineral conhecido como troilite, Zeólitos, Óxido de Silício (SiO<sub>2</sub>). Que se apresentaram em duas fases, sílica e sulfeto de ferro. Os picos mostram fases cristalinas de sílica na forma de zeólitos ( $2\theta=11^\circ$ ,  $2\theta=12^\circ$ ,  $2\theta=18^\circ$ ,  $2\theta=22^\circ$ ,  $2\theta=37^\circ$ ,  $2\theta=44^\circ$ ) e fases cristalinas de ferro na forma sulfeto de ferro mineral ( $2\theta=22^\circ$ ,  $2\theta=44^\circ$ ,  $2\theta=64^\circ$ ,  $2\theta=77^\circ$ ) e Zeólitos ( $2\theta=22^\circ$ ,  $2\theta=44^\circ$ ). Pelo gráfico percebe-se que há uma concentração maior de sulfeto de ferro mineral e os picos de  $2\theta=44^\circ$  e  $2\theta=77^\circ$  são mais intensos se comparados com outras reflexões. Em virtude de apresentar duas fases distintas, sendo de suma importância para o material adsorvente, comprovando que o bagaço de cana-de-açúcar apresentou sítios ativos para atração de compostos semelhantes além de remover óleo, como testado e comprovado nos testes que serão vistos no capítulo a seguir, tem capacidade de remover outros tipos de contaminantes.

Gráfico 2 – Difratoograma de bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: Próprio autor.

### Determinação do potencial de adsorção do bagaço da cana-de-açúcar

A turbidez é baseada na propriedade física dos fluidos que compreende na redução da sua transparência a presença de partículas sólidas em suspensão que interrompem a passagem de luz através do fluido, é expressa pela nefelometria que mede a quantidade de luz refletida devido à presença dos materiais sólidos, a partir da luz dispersa num ângulo de 90° em relação a um feixe de luz incidente, sua unidade de medida é nefelométrica de turbidez (NTU - *Nephelometric Turbidity Unity*). A Tabela 3 mostra o resultado obtido na análise de turbidez do ensaio feito em leito fixo, onde a solução atravessou o adsorvente, para solução sintética de concentração de 10.000 ppm.



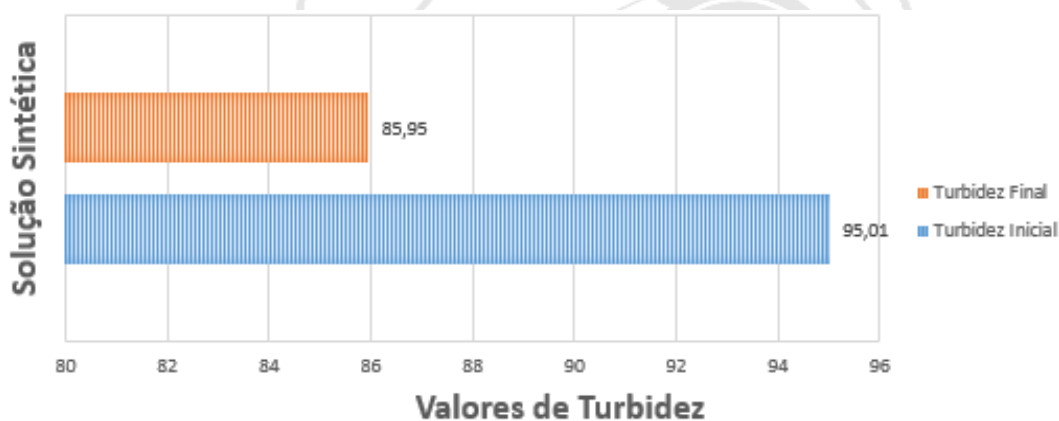
Tabela 3: - Resultado do ensaio em teste de leito fixo

Amostra	turbidez inicial	turbidez final
10.000 ppm	95,0	85,95

Fonte: Próprio Autor

No Gráfico 4, é possível perceber que houve uma remoção de turbidez da solução após o contato com o bagaço da cana-de-açúcar.

Gráfico 4: Análise de Remoção de Turbidez para ensaio preliminar em leito fixo



Fonte: Próprio autor

Nesta pesquisa, foi possível remover turbidez, no entanto, a proporções pequenas, uma média de apenas 30%, isso pode ser explicado ao fato de que o material adsorvente ao ser colocado no funil, propiciava a solução O/A a seguir caminhos preferencias, e isto desfavorecia a uma boa remoção de turbidez por parte do bagaço. É válido ressaltar, também, que a quantidade de bagaço usada para este ensaio foi de apenas 9g e o tempo de contato foi muito curto, uma vez que a solução ao ser inserida no funil, rapidamente saia e era recolhida.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nas análises de turbidez das amostras do segundo fluido, que foi feito para apenas uma amostra, de 10.000 ppm, no ensaio em coluna, realizada em cano PVC. Neste teste, a massa utilizada de material adsorvente foi maior, cerca de 125g, além de que houve a possibilidade de melhor empacotamento do bagaço dentro da coluna, garantindo melhor distribuição do fluido por todo material, aumentando o contato físico, bem como o tempo de residência, promovendo maior interação entre os sítios ativos do adsorvente com o óleo, com consequente melhor

remoção, que poderá ser percebida através das análises de turbidez.

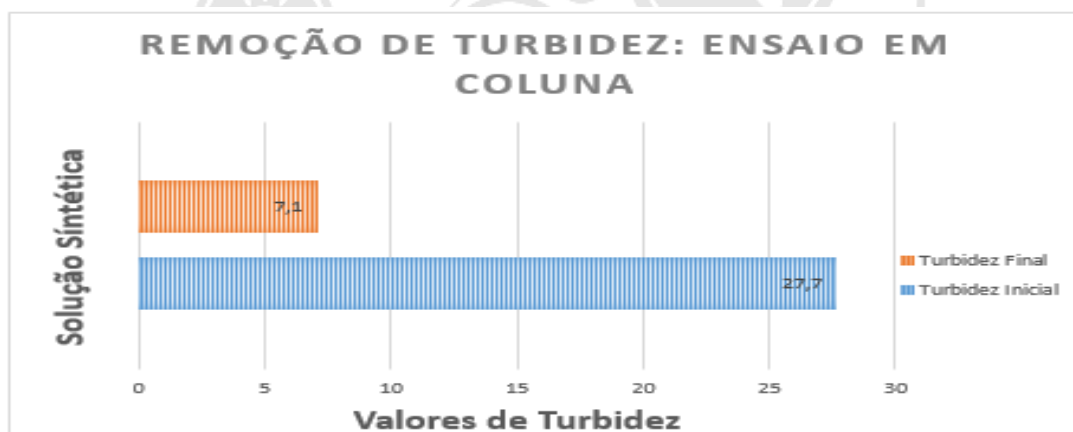
Tabela 4: Resultados do ensaio em coluna

Amostra	turbidez inicial	turbidez final
10.0000 ppm	27,7	7,1

Fonte: Próprio autor

No gráfico 5, percebe-se que houve uma remoção significativa da turbidez de solução O/A. No ensaio em coluna, houve uma maior massa de bagaço e o fluido passou mais tempo em contato com o adsorvente.

Gráfico 5: Análise de Remoção de Turbidez em coluna



Fonte: Próprio autor

Como se pode perceber, no ensaio realizado em coluna houve uma remoção bem maior da turbidez, uma estimativa de 80 %. Neste ensaio, houve uma maior massa de bagaço utilizado e compactado, em uma altura de leito maior o que promoveu maior tempo de contato entre solução e o material adsorvente, toda a solução se espalhou pelo bagaço, diferente do ensaio em leito fixo, em que a solução seguiu caminhos preferenciais.

## Conclusões

Os resultados da caracterização do bagaço de cana-de açúcar, por espectroscopia de absorção na região do infravermelho confirmam a presença de grupos funcionais orgânicos nos adsorventes, esses grupos funcionais fazem do

bagaço um adsorvente potencial para remoção de contaminantes através de mecanismos como adsorção química e/ou adsorção física.

Os testes de FTIR, e Termogravimétricos, mostraram um alto teor de material orgânico no material do bagaço, o que levava a afirmar a potencialidade do material para remoção de óleo, bem como outros contaminantes, já que no teste de difração de raios X, apresentou duas fases distintas, sílica e ferro.

No teste preliminar de leito fixo, foi possível registrar redução de turbidez, no entanto apresentou valores baixos, já no ensaio feito em coluna, o resultado foi bastante satisfatório, apresentando valores de remoção de turbidez em 80%, confirmando a capacidade desses materiais para serem aplicados em métodos de tratamento de água produzida para remoção de óleo.

No teste preliminar de leito fixo, a massa do bagaço foi pequena mediante a necessidade de que a solução O/A exigia para remoção do óleo. No que se refere ao recipiente, este fez com que a solução seguisse caminhos preferenciais, e com isso o tempo de contato entre material adsorvente e adsorvido fosse curto, não havendo desse modo uma boa adsorção do óleo.

No ensaio realizado em coluna houve uma maior massa de bagaço utilizado e compactado, em uma altura de leito maior, o que promoveu maior tempo de contato entre solução e o material adsorvente, e com isso, pode obter resultados mais satisfatórios.

As técnicas utilizadas para caracterização do bagaço da cana-de-açúcar, bem como os testes de adsorção demonstram a potencialidade do material como adsorvente alternativo para remoção de óleo em água. Estes resultados garantem uma aplicabilidade do resíduo, garantindo que o mesmo seja reutilizado com consequente redução de descarte no meio ambiente, além de tratar um efluente ou, ainda, outros tipos de efluente, de forma a possibilitar seu descarte mais seguro ou sua utilização para outros fins com melhorias de tratamento e adequações a diferentes necessidades.

### **Referências Bibliográficas**

AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. (2012)  
Mathematical modelling of a hydrocyclone for the

down-hole oil-water separation (DOWS). *Chemical Engineering Research and Design*, v. 90, p. 2186-2195.

CURBELO, F. D. da S. **Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada.** Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.

VIEIRA, R.S., GUIBAL, E., BEPPU, M.M. Adsorption and desorption of binary mixtures of copper and Mercury ions on natural and crosslinked chitosan membranes. *Adsorption*, v.13, p. 603-611, 2007.

LIMA, U.A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. *Biotecnologia Industrial*, v. 3, 1 ed., São Paulo: Edgard Blucher, p. 513-546, 2001.

LUÍZ, Ângela Marli Ewerling; LUÍZ, Ângela Marli Ewerling; SCHEFFER, Elizabeth Weinhardt de Oliveira. **Parâmetros de cor e turbidez como indicadores de impactos resultantes do uso do solo, na bacia hidrográfica do rio taquaral, são mateus do sul-pr.** 2012. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <[www.geografia.ufpr.br/raega/](http://www.geografia.ufpr.br/raega/)>. Acesso em: 25 abr. 2016.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. P. N.; **Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão.** *Eng Sanit Ambient*, Salvador, v.18, n.1, p.15-26, 2013.

SKOOG, D.A.; WEST, D.M.; HOLLER, F.J. **Fundamentos de Química Analítica.** Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

SOUZA, R. S.; SANTOS, T. C.; LIMA, L. R. **Reuso do Bagaço da Cana-de-açúcar em Tratamento de Efluentes Industriais através da Adsorção.** I Congresso Paraibano de Gestão do Lixo, Educação Ambiental e Sustentabilidade. Campina Grande – PB. 2009.