

ESTUDO DO MESOCARPO DO COCO COMO ADSORVENTE PARA A REMOÇÃO DE ÓLEO

Macilene Maria Monteiro Maia ¹
Cinthia Silva Almeida ²
Daianni Ariane da Costa Ferreira ³
Regina Célia de Oliveira Brasil Delgado ⁴
Francisco Wilton Miranda da Silva ⁵

RESUMO

A busca pelo tratamento eficiente da água produzida é um desafio da indústria petrolífera, pois é o resíduo gerado em maior volume, apresentando uma composição variável e com alta concentração de óleo, logo, necessita de atenção. O processo de adsorção vem sendo estudado para auxiliar no tratamento dessa água, em que se busca um material adsorvente eficaz e de baixo custo. Assim, o objetivo do trabalho foi analisar o uso do mesocarpo do coco na remoção da turbidez de efluente oleoso sintético, simulando a água produzida. Os ensaios foram realizados em sistema de banho finito, onde a porcentagem de redução da turbidez do fluido foi verificada para o uso do mesocarpo do coco *in natura* como adsorvente e comparado a uma amostra de carvão ativado comercial (CAC). Para o estudo, o fluido sintético foi preparado adicionando óleo diesel em água em proporções para resultar em uma emulsão de 20% em volume em óleo. Para o processo de adsorção, a biomassa passou por um pré-tratamento, que consistiu na moagem, lavagem, secagem e separação granulométrica em três diferentes faixas (0,15-0,3), (0,3-0,6) e (0,6-1,0) mm. Foram avaliados o efeito do tamanho de partícula e da massa do adsorvente em (1, 3 e 5 g). Os resultados mostraram que o mesocarpo do coco possui um potencial significativo para remoção da turbidez do fluido, com taxas de remoção entre 38% e 71%, com maior desempenho de remoção na primeira faixa granulométrica (0,15-0,30) mm.

Palavras-chave: Mesocarpo do coco, Carvão ativado, Adsorção, Água produzida, Fluido sintético.

INTRODUÇÃO

A água produzida é um efluente decorrente do processo de extração do petróleo, sendo o maior efluente obtido na etapa de produção. Com o decorrer da vida produtiva do poço, o

¹ Graduanda do Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, macilene.maria@hotmail.com;

² Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, cinthiasilva32@outlook.com;

³ Mestre em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, daianniariane@ufersa.edu.br;

⁴ Doutora pelo Curso de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN, regina.brasil@ufersa.edu.br;

⁵ Professor orientador: Doutor em Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará- UFC, wilton.miranda@ufersa.edu.br.

volume desse efluente só aumenta, principalmente devido aos métodos de estimulação como a injeção de água (PEREIRA *et al.*, 2011).

A composição da água produzida é bastante complexa, apresentando alta salinidade, elevada concentração do petróleo, sólidos suspensos decorrente da técnica de perfuração do poço, gases dissolvidos, metais pesados, compostos de amônia, microrganismos e outros (CUNHA; DUTRA, 2014). Logo, esse efluente necessita de tratamento, tendo em vista que ele pode ser prejudicial ao ecossistema. Contudo, existem normatizações específicas que implementam regras com o intuito de reduzir os danos causados no ambiente, permitindo não só o descarte seguro, mas também a possibilidade de reuso da água tratada (BARBOSA; TAVARES; NAVONI, 2019).

Além das normatizações, a ciência está sempre a frente, comprometida a buscar através da pesquisa soluções eficientes para o tratamento desse efluente. Como resultado, vários métodos são utilizados e aperfeiçoados, como: processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos como os separadores água-óleo, coagulação-floculação, filtros biológicos, tecnologia eletroquímica e lodo ativo (CUNHA; DUTRA, 2014). Entre outras técnicas promissoras que também vêm sendo investigadas podemos citar: a precipitação, extração por solvente, cimentação, troca iônica e adsorção. Essa última consiste na adesão de substâncias (adsorbatos) presentes no fluido ou gás (adsortivo), na superfície de um sólido (adsorvente), sendo uma técnica simples e, em geral, economicamente viável (RUTHVEN, 1998).

O adsorvente que aparece com maior frequência nos estudos é o carvão ativado, sendo testado em inúmeras situações, principalmente nos casos de remoção de contaminantes da água, como metais, compostos orgânicos, fármacos, dentre outros (CRINI *et al.*, 2018). Contudo, é um material oneroso para ser aplicado em larga escala, como no caso do tratamento da água produzida de petróleo. Desse modo, se torna cada vez mais relevante a busca por materiais alternativos de baixo custo.

Diversos adsorventes alternativos, oriundos de resíduos agroindustriais são estudados por serem materiais de baixo custo, sem valor agregado e comumente descartados, o que implica na redução no custo do processo de adsorção. Além do baixo custo, tais resíduos podem indicar resultados favoráveis associados ao processo de adsorção, entre os materiais orgânicos estudados estão: casca de banana (AMARAL, 2017; ROCHA *et al.*, 2019), cana-de-açúcar (DE PAIVA *et al.*, 2015; XAVIER *et al.*, 2021), casca de coco (CARVALHO, 2016; LACERTA *et al.*, 2018) e outros.

O coco (*cocos nucifera*) é um fruto seco predominante em Países tropicais, que tem como características casca espessa, fibrosa e porosa. Tais fibras contidas na parte denominada de mesocarpo possuem um grau relativamente alto de durabilidade devido à elevada concentração de lignina, celulose e hemicelulose (CRAVO, 1995; SANTOS, 2002; GONÇALVES *et al.*, 2014). Desse fruto, apenas a polpa e a água contida no interior do endocarpo são consumidas, normalmente todo o restante (epicarpo, endocarpo e mesocarpo) é descartado por não possuir valor agregado para as pessoas e empresas.

Ressalta-se que a casca de coco é um resíduo agroindustrial gerado em abundância no Brasil, com produção estimada em 2,7 milhões de toneladas/ano devido ao elevado cultivo da fruta, no qual o País ocupa a quinta posição da produção mundial. Deste total, a região Nordeste se destaca por gerar 71,2% de toda a produção nacional (BRAINER; XIMENES, 2020).

Além do baixo custo e da alta disponibilidade, o que torna os resíduos desse fruto atrativo para vários estudos é a sua morfologia porosa e irregular e os grupos funcionais contidos na superfície como: carbonila, hidroxila, carboxila e outros, o que segundo Azevedo *et al.* (2008) são características que podem contribuir para o processo de adsorção.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar através da análise qualitativa de turbidez, o potencial de remoção de óleo presente em efluente sintético (simulando água produzida) utilizando o mesocarpo do coco como adsorvente. Para tanto, se investigou a influência da granulometria e a concentração da biomassa para o processo, além de comparar com dados de remoção para uma amostra de carvão ativado comercial.

METODOLOGIA

A metodologia usada para o desenvolvimento deste trabalho consiste em três etapas: (i) Obtenção e preparação dos adsorventes; (ii) Preparação do fluido sintético; e (iii) Ensaios de adsorção em banho finito.

I- Obtenção e preparação dos adsorventes

Mesocarpo do coco

O coco utilizado nesse estudo foi coletado no município de Mossoró-RN. Seu pré-tratamento foi fundamentado em estudo precedente (MARTINS *et al.*, 2018). Inicialmente, o mesocarpo do coco foi separado do fruto, cortado manualmente e, em seguida, o material foi lavado em água corrente para remover todas as impurezas superficiais e colocado para secar em estufa a 65°C por 24 horas para garantir a ausência de umidade. Posteriormente, a fibra foi triturada em um moinho de facas (marca SOLAB SL-32) e separada com ajuda de peneiras do

tipo Tylor, em três faixas granulométricas diferentes, a saber: (0,15-0,3), (0,3-0,6) e (0,6-1,0) mm.

Carvão ativado comercial

A amostra de carvão ativado comercial denominada por WV 1050 da Mead-Westvaco (EUA) foi cedida pela Universidade Federal do Ceará, e usada neste estudo para fins comparativos. Por sua vez, o material que estava prontamente tratado e separado na faixa granulométrica (1-1,7) mm foi previamente ativado, no qual foi posto na estufa a cerca de 80°C durante o intervalo de 3 horas. A ativação tem como objetivo remover substâncias que estejam previamente adsorvidas no material. Em seguida, a amostra foi submetida aos ensaios de adsorção que será descrito posteriormente.

II- Preparação do fluido sintético

O fluido sintético aquoso foi preparado conforme embasamento em estudos anteriores (BARBOSA *et al.*, 2018; DOMINGOS *et al.*, 2020). A água foi preparada usando óleo diesel do tipo S500 e água destilada. Para cada 0,8 L de água, foram adicionados 0,2 L de óleo para produzir uma emulsão água e óleo com concentração 20% em volume.

Com o objetivo de promover a ruptura das partículas de óleo, e assim favorecer a agregação do óleo à água de modo que água sintética se aproxime da água produzida real, a mistura permaneceu sob agitação constante em um agitador do tipo Hamilton Beach durante 30 segundos e posteriormente por mais 50 minutos em uma mesa agitadora SL-1821A da marca SOLAB, em temperatura ambiente. Em seguida, o fluido passou por decantação em um funil separador durante 24 horas, com a finalidade de separar as fases, para posterior utilização da fração emulsionada nos ensaios de adsorção. Ressalta-se que antes dos ensaios de adsorção, foram coletadas alíquotas do fluido sintético para a medição de turbidez inicial.

III- Ensaios de adsorção em banho finito

Os testes de adsorção ocorreram em sistema de banho finito. Em erlenmeyers de 250 ml, as amostras de adsorventes foram colocadas em contato com 190 ml de fluido sintético. Do total de 7 ensaios, 3 foram realizados variando a faixa granulométrica em (0,15-0,3), (0,3-0,6) e (0,6-1,0) mm com massa fixa de 3g de mesocarpo, 2 ensaios variando as massas do adsorvente (1g e 5g) com faixa granulométrica fixa de (0,6-1,0)mm e, por fim, 2 ensaios contendo 3g de carvão ativado na faixa (1-1,7) mm.

Todas as amostras em banho finito foram inseridas em uma Incubadora Shaker SL 222 da marca SOLAB, onde permaneceram sob rotação de 170 rpm a temperatura constante de 30 °C, durante o período de 12 horas. Passado esse tempo, as amostras foram retiradas e

permaneceram por 5 horas em repouso, para que houvesse o processo de decantação. Logo em seguida, foram retiradas pequenas amostras do fluido de cada ensaio, para posterior teste de turbidez.

Neste estudo, foi utilizado um turbidímetro AP 2000 W da marca PoliControl® para medição da turbidez (em unidades de Nephelometric Turbidity Unity - NTU) do fluido sintético, antes e depois dos ensaios de adsorção, com o objetivo de avaliar de forma qualitativa o potencial de adsorção dos adsorventes. Destaca-se que todos os testes de turbidez foram realizados em triplicada e o valor final considerado foi obtido através da média aritmética.

Para determinar a porcentagem de remoção da turbidez, foi utilizada a seguinte equação:

$$\%Remoção = \left(1 - \frac{T_{in}}{T_{fi}}\right) * 100\% \quad (Eq. 1)$$

Em que, *%Remoção* representa a porcentagem de remoção da turbidez do fluido, *T_{in}* é a turbidez deste antes do contato com o adsorvente e *T_{fi}* a turbidez do fluido após o contato.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A turbidez inicial do fluido sintético foi de 774 NTU. Conforme já mencionado nesse estudo, os ensaios de adsorção em banho finito foram realizados utilizando o mesocarpo do coco (*in natura*) como adsorvente alternativo e estabelecendo um paralelo ao carvão ativado comercial. Para aferir resultados mais minuciosos, foram estudadas duas variáveis: granulometria e a massa do adsorvente. Para efeito comparativo também se analisou a adsorção com carvão ativado comercial.

Influência da granulometria do adsorvente

Os ensaios foram realizados para diferentes faixas granulométricas, onde cada experimento dispôs de 3 g de adsorvente para 190 ml de água destilada. Os resultados obtidos nos testes de turbidez do fluido após contato com o mesocarpo do coco para diferentes granulometrias são apresentados na **Tabela 1**:

Tabela 1- Resultados acerca da influência da granulometria do mesocarpo para a remoção da turbidez do fluido.

Nº amostra	Faixa (mm)	Turbidez Final (NTU)	Remoção (%)
1	(0,15-0,3) mm	225	71%
2	(0,3-0,6) mm	351	55%
3	(0,6-1) mm	248	68%

Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

De acordo com os dados apresentados na **Tabela 1**, nota-se que houve redução significativa da turbidez do fluido para todas as faixas granulométricas estudadas. Destaca-se que neste estudo o processo de adsorção atingiu maior percentual de redução da turbidez para a menor faixa granulométrica (0,15-0,3) mm, a qual obteve uma redução de 71%. Logo, o resultado vai de encontro ao entendimento e comprovação dos pesquisadores Al-Futaisi *et al.* (2007) e Lo Toledo *et al.* (2017), quando estes concluíram que quanto menor a granulometria de um adsorvente, maior será seu potencial de adsorção, devido ao consequente aumento da superfície de contato entre este e o adsorbato.

Influência da massa do adsorvente

Para estudar o potencial de adsorção do mesocarpo na redução de turbidez do fluido sintético, foi fixada a maior faixa granulométrica (0,6-1,0) mm, assim como a quantidade de fluido por ensaio (190 ml), enquanto a proporção de massa do material variou em 1, 3 e 5 g. De acordo com os resultados na **Tabela 2**, percebe-se que a menor turbidez ao fim do processo ocorreu na terceira amostra, com maior quantidade de adsorvente (5 g), na qual cerca de 70% da turbidez foi reduzida.

Tabela 2- Resultados acerca da influência da concentração do mesocarpo para a remoção da turbidez do fluido.

Nº amostra	Massa (g)	Turbidez Final (NTU)	Remoção (%)
1	1g	479	38%
2	3g	248	68%
3	5g	229	70%

Fonte:Elaboração dos autores, 2021.

Assim como transcorreu nos estudos de adsorção realizados por Eshisan e Sapawe (2018), a influência da concentração do adsorvente nos presentes ensaios evidenciou uma linha tendência, visualizada na **Figura 1**:

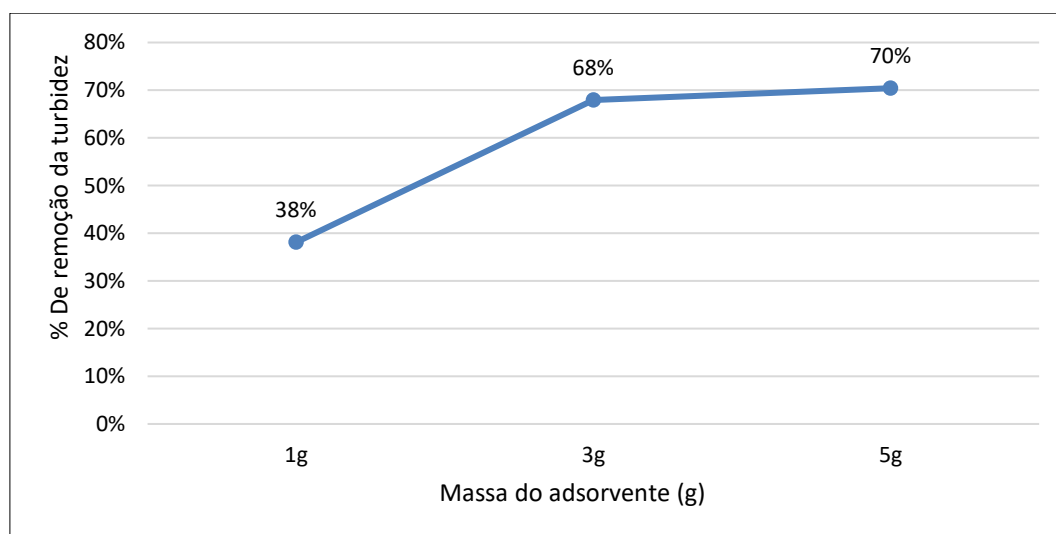


Figura 1- Porcentagem de remoção de turbidez por massa de adsorvente.

Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

Conforme exposto na **Tabela 2** e na **Figura 1**, constata-se que a quantidade de massa do adsorvente influencia diretamente na remoção do óleo. Quanto maior a medida de adsorvente, maior é a taxa de remoção de turbidez do fluido, já que aumenta a quantidade de sítios de adsorção.

Comparação entre o mesocarpo do coco e o carvão ativado comercial

Para fins comparativos, foram realizados dois ensaios contendo carvão ativado comercial, incluindo em ambos 3 g do adsorvente na faixa (1-1,7) mm para 190 ml de fluido. Nas condições citadas, a taxa média de remoção nesses testes de turbidez foi de 86%.

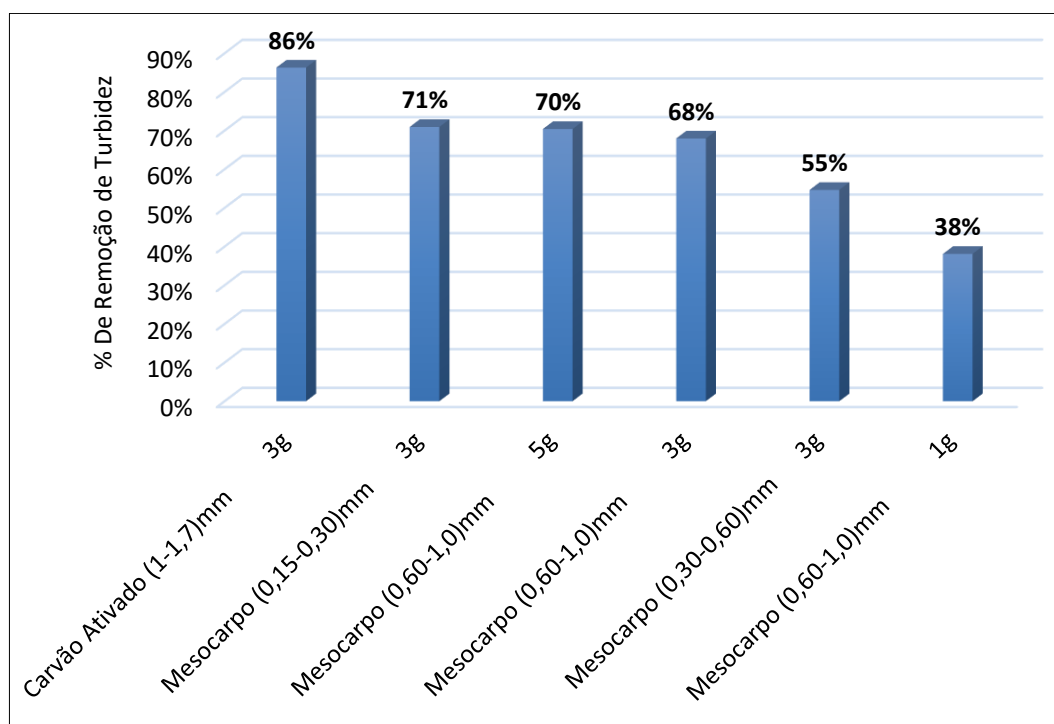


Figura 2- Comparativo geral dos resultados de adsorção para a remoção de turbidez do fluido sintético. Fonte: Elaboração dos autores, 2021.

A partir da **Figura 2**, que mostra o comparativo dos resultados para todos os testes realizados neste trabalho, pode-se inferir que o mesocarpo de coco *in natura* é um material com alto potencial de adsorção, com porcentagem de remoção próxima ao carvão ativado comercial, especialmente quando se usa uma menor granulometria, nesse caso (0,15-0,30) mm, ou quando se eleva a concentração da biomassa, no caso de 5 g em faixa (0,6-1,0) mm na qual atingiu 70% de redução de turbidez.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos, conclui-se que o mesocarpo do coco, considerado como um resíduo agroindustrial sem valor agregado, pode ser utilizado como adsorvente alternativo

para a remoção da turbidez de fluido oleoso (semelhante a água produzida), visto que seu potencial de remoção alcançou valores promissores (até 71%), mesmo aplicado em sua forma natural.

Em relação aos efeitos da granulometria e massa do adsorvente, foi constatado que ambos influenciam diretamente no processo de adsorção. No primeiro caso, o melhor ensaio ocorreu para a menor faixa granulométrica, enquanto no segundo, a proporção de remoção mais alta ocorreu para a maior quantidade de adsorvente. Percebe-se ainda que há uma tendência para o efeito da concentração do adsorvente, a qual indica que a medida que se aumenta a massa do adsorvente, conseqüentemente se eleva o percentual de remoção de turbidez.

Quanto à comparação do uso da biomassa do coco e do carvão ativado comercial, é notório que essa última possui maior taxa de remoção em relação ao melhor percentual da primeira, todavia, os resultados foram considerados satisfatórios, em sua maioria, por indicarem uma capacidade relativamente alta de remoção de turbidez.

Por fim, salienta-se que mais investigações são necessárias para que se possa entender o comportamento desse material no processo de adsorção, variando outros parâmetros como pH, temperatura e tempo de contato, alterando o método de medida de remoção ou ainda aperfeiçoando o pré-tratamento do adsorvente, tendo com isso o intuito de tornar esse material tão abundante e acessível cada vez mais viável para o uso futuro em grande escala.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCTI. Da mesma forma, agradecem ao Grupo de Pesquisa em Separações por Adsorção (GPSA) da Universidade Federal do Ceará – UFC, por fornecer as amostras de carvão ativado utilizadas neste estudo.

REFERÊNCIAS

Al-Futaisi, A.; Jamrah, A.; Al-Hanai, R. Aspects of cationic dye molecule adsorption to palygorskite. **Desalination**, v. 214(1-3), p. 327–342, 15 Aug. 2007.

AMARAL, Pablo Santos. Aplicação das cascas da banana prata na biossorção de sais e metais pesados presentes na água produzida de petróleo. **Semana de Pesquisa do Centro Universitário Tiradentes-SEMPESq**. Alagoas, n. 5, 2017.

AZEVEDO, B. S. M *et al.* Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para a formação de biofilme visando o tratamento de efluentes. Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**, 2008.

BARBOSA, Andréa Francisca Fernandes *et al.* Uso de planejamento experimental na otimização das variáveis do processo de adsorção com turfa para remoção da turbidez de efluente oleoso. Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – CONEPETRO, III, **Anais eletrônicos...** Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/44138>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

BARBOSA. A.M.A., TAVARES, J.L., NAVONI, J.A. Caracterização e análise do potencial da água produzida como alternativa para reuso. **HOLOS**, v.8, Ano 35, e9200, (2019).

BRAINER, M. S. D. C. P; XIMENES, Luciano F. Banco do Nordeste. Produção de coco: Soerguimento das áreas tradicionais do Nordeste. **Caderno Setorial Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE**, ano. 5, n. 127, ago./2020. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/7724988/2020_CDS_127c.pdf/7fb2b558-1b93-b317-0b60-3e28e0f1fa2c. Acesso em: 9 abr. 2021.

CRAVO, Antonieta B. Frutas & ervas que curam. São Paulo: **Hemus**, ed. 5. ISBN 978-85-289-0489-5. P. 80, 1995.

CRINI, G.; LICHTFOUSE, E.; WILSON, L. D.; MORIN-CRINI, N. Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, n. 1, p. 195-213, 31 jul. 2018. Springer Science and Business Media LLC.

CUNHA, G. S.; DUTRA, A. J. B. Avaliação da eletroflotação no tratamento de água produzida de petróleo. **HOLOS**, v. 3, p. 212-219, 2014.

DE PAIVA, E. M. *et al.* Remoção do óleo da água produzida sintética utilizando bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, p. 749-754, jun. 2015.

DOMINGOS, Iaponan Soares *et al.* Análise da eficiência da diatomita no tratamento de fluido sintético oleoso, visando aplicação em água produzida em campos de petróleo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 89329-89339, 2020.

EHISHAN, Nor Shilawati; SAPAWE, Norzahir. Performance studies removal of chromium (Cr6+) and lead (Pb2+) by oil palm frond (OPF) adsorbent in aqueous solution. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 10, p. 21897-21904, 2018.

GONÇALVES, Fabiano Avelino *et al.* Comparison of delignified coconuts waste and cactus for fuel-ethanol production by the simultaneous and semi-simultaneous saccharification and fermentation strategies. **Fuel**, v. 131, p. 66-76, 1 sep. 2014.

LACERDA, K. D. R.; VIEIRA, F. F.; ALMEIDA, M. M. de; SANTOS, W. B. dos. Avaliação do mesocarpo do coco verde como adsorvente do corante azul Cassafix CA - 2G. **Revista Dae**, v. 66, n. 213, p. 124-134, out./dez. 2018.

LO TOLEDO, A., A COSTA, C., N. R., OLIVEIRA, G., R SANTOS, N., MR MORINAGA, N., S BENJAMIN, W. Estudo da adsorção em efluentes líquidos através do mesocarpo do coco e bagaço da cana-de-açúcar. Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais - EDEPA, I, Uberaba-MG. **Repositório digital da Uniube**. 1 dez. 2017.

MARTINS, Beatriz Ferraz; **Produção de carbono ativado a partir da fibra de coco (cocos nucifera) utilizando ácido sulfúrico para aplicação na reação de esterificação.**

Orientadora: Paula K. L. S. Valença. 2018. TCC (Graduação) – Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Semi-Árido, Mossoró, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/4352>. Acesso em: 13 abr. 2021.

PEREIRA, D. F., ARAÚJO, N. A., SANTOS, T. M., SANTANA, C. R., Da SILVA, G. F. Aproveitamento da torta da Moringa oleifera Lam para tratamento de água produzida. **Exacta**, v.9, n. 3, p. 323-332, 2011.

ROCHA, Marcus Vinícius Nunes Lima *et al.* Aplicação das cascas de banana comprida na biossorção de óleo presente na água produzida. **Semana de Pesquisa do Centro Universitário Tiradentes-SEMPEsq**. Alagoas, n. 7, 2019.

RUTHVEN, Douglas M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. New York: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 1984.

SANTOS, M.S. **Propriedades térmicas e mecânicas de materiais reciclados e base de PET pós consumo e cargas de coco**. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Ciência e Tecnologia de polímeros. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em : <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/DISSERTA%C3%87%C3%83O-FINAL.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

XAVIER, Cinthia Sany França *et al.* Secagem e avaliação do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente de corantes têxteis presentes em soluções aquosas. **Matéria**. Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, 12 mar. 2021.