



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM
PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (PRH-55.1)

MACILENE MARIA MONTEIRO MAIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ADSORTIVO DOS RESÍDUOS DO COCO PARA
REMOÇÃO DE ÓLEO EM EFLUENTES**

MOSSORÓ/RN
2022

MACILENE MARIA MONTEIRO MAIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ADSORTIVO DOS RESÍDUOS DO COCO PARA
REMOÇÃO DE ÓLEO EM EFLUENTES**

Monografia apresentada a coordenação do Programa Institucional de Formação de Recursos Humanos em Petróleo, Gás e Biocombustíveis da ANP – PRH 55.1, como um dos requisitos ao bolsista de graduação do referido programa.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda da Silva

MOSSORÓ/RN
2022

MACILENE MARIA MONTEIRO MAIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ADSORTIVO DOS RESÍDUOS DO COCO PARA
REMOÇÃO DE ÓLEO EM EFLUENTES**

Monografia apresentada a coordenação do Programa Institucional de Formação de Recursos Humanos em Petróleo, Gás e Biocombustíveis da ANP – PRH 55.1, como um dos requisitos ao bolsista de graduação do referido programa.

Defendida em: 04 /11/ 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda da Silva
(UFERSA)
Presidente

Manoel Reginaldo Fernandes

Prof. Dr Manoel Reginaldo Fernandes
(UFERSA)
Membro Examinador

Dra. Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço à Deus que conduziu a minha história até aqui.

Aos meus pais, Francisco e Teresinha, da mesma forma, aos meus irmãos Nildo, Márcia e Fábio por acreditarem em mim e me apoiarem plenamente durante essa jornada.

Ao meu esposo Richard, por me acompanhar em todas as minhas empreitadas, por toda paciência, força, e sobretudo, pelo amor e carinho.

Ao meu filho Murilo, por ser minha fonte de energia e inspiração, por me ensinar, a cada dia, o real significado de amor puro e incondicional.

A todos os docentes e demais profissionais da UFERSA, que me acompanharam ao longo desta longa jornada, especialmente, ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Wilton, pela atenção, paciência, tempo e apoio prestados.

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH/ANP.

Em resumo, agradeço a todas as pessoas, amigos, colegas, conhecidos, de dentro ou fora da Universidade que, de alguma maneira, contribuíram para a conclusão dessa etapa da minha vida.

A todos vocês dedico este trabalho.

EPÍGRAFE

"Nunca se esqueça de quem é, porque é certo que o mundo não se esquecerá. Faça disso sua força. Assim, não poderá ser nunca a sua franqueza. Arme-se com essa lembrança, e ela nunca poderá ser usada para magoá-lo”.

George R.R. Martin.

MAIA, Macilene Maria Monteiro – Avaliação do potencial adsorptivo dos resíduos do coco para remoção de óleo em efluentes, UFERSA, Programa Institucional de Formação de Recursos Humanos em Petróleo, Gás e Biocombustíveis – PRH 55.1/ANP, Mossoró-RN, Brasil.

Orientador: Dr. Francisco Wilton Miranda da Silva.

RESUMO

Um dos efluentes mais preocupantes e de maior volume produzido na indústria do petróleo é a água produzida. Este subproduto é separado durante a etapa de processamento primário de petróleo e contém óleo, elevada salinidade e diversos contaminantes como metais pesados, sendo uma das principais fontes de poluição. Dessa forma, é necessário o tratamento deste efluente para atender as demandas ambientais, operacionais ou da atividade produtiva que a utilizará como insumo. A adsorção é um processo de separação que tem potencial como tratamento da água produzida. A procura por materiais com capacidade eficiente de adsorção e com custo acessível para uso em larga escala representa um desafio pertinente. Diante disso, o objetivo principal do presente trabalho foi avaliar o uso de resíduos do coco, precisamente o endocarpo e mesocarpo, como bioadsorventes alternativos para a adsorção de óleo contido em efluente sintético simulando a água produzida. Os experimentos ocorreram em sistema de banho finito. Foram realizadas a medição de turbidez do fluido antes e depois do contato com os materiais, e, posteriormente, os dados transformados em unidades de porcentagens de remoção de turbidez. Os resíduos utilizados passaram por pré-tratamento e separação granulométrica nas faixas: (0,15-0,30), (0,3-0,60) e (0,60-1,0) mm. Para simular a água produzida, foi preparado um fluido sintético adicionando óleo diesel S500 em água destilada em proporções para formar uma emulsão de concentração de 20% em volume. Foram avaliados os efeitos da massa dos bioadsorventes, tamanho da partícula, além do tratamento prévio dos resíduos com agentes hidrofobizantes. Os resultados obtidos indicam que as biomassas têm capacidade de reduzir a turbidez do efluente. Os percentuais de remoção para os adsorventes em estado natural foram entre 21 e 71%. Dentre as configurações de ensaios realizadas, as porcentagens mais elevadas de remoção de turbidez foram as amostras de menor faixa granulométrica do mesocarpo do coco hidrofobizado com parafina (86%) e com cera de carnaúba (79%).

Palavras-chave: Adsorção, Água produzida, Fluido sintético, Resíduos do coco.

ABSTRACT

One of the most worrying and largest volume effluents produced in the petroleum industry is produced water. This byproduct is separated during the oil primary processing stage and contains oil, high salinity and several contaminants such as heavy metals, being one of the main sources of pollution. Thus, the treatment of this effluent is necessary to meet the environmental, operational or production activity demands that will use it as input. Adsorption is a separation process that has potential as a produced water treatment. The search for materials with efficient adsorption capacity and affordable cost for large scale use represents a relevant challenge. Therefore, the main objective of this work was to evaluate the use of coconut waste, precisely the endocarp and mesocarp, as alternative bioadsorbents for the adsorption of oil contained in synthetic effluent simulating produced water. The experiments took place in a finite-bath system. The turbidity of the fluid was measured before and after contact with the materials, and subsequently the data were transformed into units of turbidity removal percentages. The waste used went through pretreatment and granulometric separation in the ranges: (0.15-0.30), (0.3-0.60) and (0.60-1.0) mm. To simulate the produced water, a synthetic fluid was prepared by adding S500 diesel oil in distilled water in proportions to form an emulsion of 20% concentration by volume. The effects of bioadsorbent mass, particle size, as well as prior treatment of the waste with hydrophobic agents were evaluated. The results obtained indicate that the biomasses have the ability to reduce the turbidity of the effluent. The removal percentages for the adsorbents in their natural state were between 21 and 71%. Among the test configurations performed, the highest percentages of turbidity removal were the samples with lower granulometric range of coconut mesocarp hydrophobized with paraffin (86%) and with carnauba wax (79%).

Keywords: Adsorption, Produced water, Synthetic fluid, Coconut waste.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Processo de adsorção. | 22 |
| Figura 2 - Descrição das divisões do coco. | 25 |
| Figura 3 - Fases da pesquisa. | 27 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Porcentagem de remoção de turbidez ao variar a massa de adsorvente..... | 33 |
| Gráfico 2 - Comparativo entre ensaios com mesocarpo e carvão ativado..... | 35 |
| Gráfico 3 - Comparativo entre ensaios com endocarpo e carvão ativado. | 36 |
| Gráfico 4 - Percentuais de redução de turbidez para o uso do mesocarpo do coco natural e hidrofobizado na faixa (0,15 – 0,30) mm. | 37 |
| Gráfico 5 - Percentuais de redução de turbidez para o uso do mesocarpo do coco natural e hidrofobizado na faixa (0,60 – 1,0) mm. | 37 |
| Gráfico 6 - Percentuais de redução de turbidez para o uso do endocarpo do coco natural e hidrofobizado na faixa (0,60 – 1,0) mm. | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Composição da água produzida dos campos RN..... | 19 |
| Tabela 2 – Diferenças entre a adsorção física e química..... | 23 |
| Tabela 3 – Configuração experimental dos ensaios (Fase 1)..... | 29 |
| Tabela 4 – Configuração experimental dos ensaios (Fase 2)..... | 31 |
| Tabela 5 – Resultados acerca do efeito da massa do mesocarpo para a remoção de turbidez..... | 32 |
| Tabela 6 – Resultados acerca do efeito da massa do endocarpo para a remoção de turbidez. | 33 |
| Tabela 7 – Resultados acerca do efeito da granulometria do mesocarpo para a remoção de turbidez. | 34 |
| Tabela 8 – Resultados acerca do efeito da granulometria do endocarpo para a remoção de turbidez. | 34 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AP – Água Produzida

BEN – Balanço Energético Nacional

BTEX – Benzeno, tolueno e xileno

CA – Carvão Ativado

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

HPA – Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

LD – Low Density

NTU – Nephelometric Turbidity Unity

Ppm – Partes Por Milhão

RAO – Relação Água/Óleo

RPM – Rotações Por Minuto

TOG – Teor de Óleos e Graxas

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1.INTRODUÇÃO | 14 |
| 2.OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 16 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 17 |
| 3.1 PETRÓLEO..... | 17 |
| 3.2 ÁGUA PRODUZIDA | 17 |
| 3.2.1 Definição..... | 17 |
| 3.2.2 Composição da Água Produzida..... | 19 |
| 3.3 NORMAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA..... | 20 |
| 3.4 MÉTODOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA | 20 |
| 3.5 ADSORÇÃO | 21 |
| 3.5.1 Definição e classificação..... | 21 |
| 3.5.2 Resíduos orgânicos como adsorventes..... | 24 |
| 3.6 RESÍDUOS DO COCO (ENDOCARPO E MESOCARPO) COMO ADSORVENTES | 24 |
| 3.7 AGENTES HIDROFOBIZANTES..... | 26 |
| 4.METODOLOGIA..... | 27 |
| 4.1 FASE 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES NATURAIS | 28 |
| 4.1.1 Seleção e preparo dos adsorventes..... | 28 |
| 4.1.2 Síntese do efluente oleoso..... | 28 |
| 4.1.3 Avaliação da remoção de óleo através de ensaios em banho finito..... | 29 |
| 4.2 FASE 2: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES HIDROFOBIZADOS | 30 |
| 4.2.1 Hidrofobização dos resíduos do coco..... | 30 |
| 4.2.2 Avaliação da remoção de óleo usando adsorventes hidrofobizados | 31 |
| 5.RESULTADOS E DISCUSSÕES | 32 |
| 5.1 RESULTADOS RELACIONADOS A FASE 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES NATURAIS..... | 32 |
| 5.1.1 Efeito da massa dos adsorventes | 32 |
| 5.1.2 Efeito do tamanho da partícula (faixa granulométrica) dos adsorventes | 33 |
| 5.1.3 Comparação dos ensaios entre os adsorventes alternativos e carvão ativado | 34 |
| 5.2 RESULTADOS RELACIONADOS A FASE 2: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE | |

| | |
|---|-----------|
| ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES HIDROFOBIZADOS..... | 36 |
| 6.CONCLUSÃO..... | 38 |
| 7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural abundante e crucial para a vida. Sua escassez configura um desafio mundial que fomenta a consciência coletiva sobre preservar e reaproveitar esse recurso finito. Nesse sentido, diversos estudiosos, governantes e ambientalistas empenham-se na criação de medidas a favor da preservação da água, desenvolvendo leis gradualmente mais rígidas acerca do descarte de efluentes e contaminações resultantes do derrame de substâncias poluentes na natureza (MIORANZA, 2015).

Desde 1970, o desenvolvimento da economia brasileira decorrente dos avanços da industrialização provocou um aumento progressivo do consumo de derivados do petróleo (PORTO, 2014). A partir dessa época, o petróleo se tornou uma forte fonte energética para o Brasil e para o mundo. Atualmente, essa valorização prevalece. Conforme comprova as últimas pesquisas do Balanço Energético Nacional (BEN) em 2021, o setor petrolífero alcançou cerca de 34,4% da matriz energética brasileira, liderando com a maior margem de participação (BEN, 2022).

Água produzida (AP) é o maior efluente decorrente dos processos ligados a exploração de petróleo e gás. Conforme perpassa a vida produtiva de um poço, somado ao uso de técnicas tradicionais de estímulo, como a injeção de água, há um aumento gradual do volume dessa água como também mudanças de sua constituição (PEREIRA *et al.*, 2011). Esse efluente detém grande preocupação da indústria e dos órgãos ambientais por conter uma complexa gama de compostos inorgânicos e orgânicos como: hidrocarbonetos, microrganismos, partículas em suspensão decorrentes das estratégias de extração, diversos sais, gás dissolvido, metais pesados, e outros (THOMAS *et al.*, 2004; CUNHA; DUTRA, 2014; AL-GHOUTI *et al.*, 2019).

Dentre as substâncias presentes na água produzida, o óleo emulsificado é uma das mais preocupantes para a indústria e para o meio ambiente, devido à dificuldade encontrada para remover o referido contaminante. Nesse panorama, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA regulamenta as quantidades máximas de alguns elementos contaminantes e estabelece parâmetros para o lançamento de efluentes. Segundo as Resoluções nº 393/2007 e nº 430/2011 do referido órgão, a proporção máxima por dia para o Teor de Óleos e Graxas (TOG) para descarte em bases marítimas é de 42 mg.L^{-1} , contanto que média a aritmética simples mensal não ultrapasse 29 mg.L^{-1} . Já para lançamento em corpos receptores, o limite é de 20 mg.L^{-1} diários (CONAMA, 2007; CONAMA, 2011).

Neste contexto, se justifica a procura por novos métodos, materiais e tecnologias em prol de tratamentos mais viáveis e eficientes para a remoção do óleo emulsionado presente nesse subproduto (MOTTA *et al.*, 2013). Atualmente, pesquisadores vem desenvolvendo vários estudos com o intuito

de aperfeiçoar0, técnicas já existentes para tratamento e/ou implementar novas, incluindo o uso de materiais alternativos, são exemplos: coagulação química (VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, 2020); adsorção (ALMEIDA, 2014; FEITOZA, 2018; ALBUQUERQUE, 2021); gravitação (MENEZES *et al.*, 2011); flotação por tensoativos (SILVA, 2008). A combinação de um ou mais métodos também tem sido avaliada, tendo como exemplo o uso de tensoativos e polieletrólitos (ROCHA, 2018); filtração, adsorção e foto-fenton (CARVALHO, 2016); eletroflotação e o método combinado eletroflotação/fenton (OLIVEIRA, 2020), etc.

A adsorção é uma das técnicas mais simples e geralmente menos dispendiosa, que corresponde ao processo em que forças intermoleculares associam um soluto, denominado por adsorbato, a uma superfície sólida (adsorvente), que é o material responsável pela separação. O adsorvente, em geral, consiste em um sólido poroso com alta área de superfície interna, característica que contribui para a adesão dos adsorbatos existentes no fluido (RUTHVEN, 1998; DO, 1998). Devido tais vantagens, a adsorção tem atraído a atenção de muitos pesquisadores que buscam simplificar e reduzir os custos de tratamentos de efluentes.

Conforme expõe Crini *et al.* (2018), o carvão ativado (CA) é o adsorvente mais utilizado em diversos processos de adsorção, especialmente em estudos que envolvem a descontaminação da água, como a remoção de metais, matérias orgânicas, fármacos etc. No entanto, ao se pleitear a utilização desse material em grandes proporções, como seria realizado para a remover os contaminantes existentes na água produzida, o processo se torna inviável devido ao alto custo desse adsorvente.

À vista disso, estudos sobre diferentes tipos de adsorventes vêm sendo desenvolvidos. Ressalta-se que materiais orgânicos originados pelas agroindústrias (casca de coco, casca de banana, caroço de azeitona etc.), os quais são comumente descartados podem conter propriedades que favorece a adsorção, e contribuem para a redução de custos nos procedimentos de remoção de contaminantes como o óleo/hidrocarboneto presente na água de produção.

Diversas pesquisas desenvolvidas provam que o uso de adsorventes orgânicos tem potencial para moderar os custos associados ao tratamento da água (De Paiva *et al.* 2015; Carvalho, 2016; Amaral, 2017; Lacerda *et al.* 2018; Rocha *et al.*, 2019; Xavier *et al.*, 2021). Entre os adsorventes alternativos estudados, os resíduos do coco (a saber: endocarpo e mesocarpo) são fontes de destaque, por advir de um fruto predominante no Brasil, e por este comportar características morfológicas como porosidade, que tendem a promover adsorção (CRAVO, 1995; AZEVEDO *et al.*, 2008).

Diante do contexto apresentado, esse trabalho tem como objetivo avaliar o uso de resíduos do coco, precisamente o endocarpo e mesocarpo, como adsorventes alternativos para a adsorção de óleo contido em efluente artificial simulando água produzida.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso de resíduos do coco, precisamente o endocarpo e mesocarpo, como adsorventes alternativos para a remoção de óleo em um efluente sintético.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Entre os objetivos específicos deste trabalho, podemos citar:

- Realizar o processamento granulométrico e preparação do mesocarpo e endocarpo do coco para utilização como bioadsorventes;
- Elaborar uma análise comparativa ao uso do carvão ativado comercial;
- Estudar a influência da granulometria e massa dos bioadsorventes;
- Analisar a eficiência adsortiva das biomassas impregnadas com agentes hidrofobizantes (cera de carnaúba e parafina);
- Realizar análises qualitativas de remoção de óleo mediante estudo da turbidez do fluido sintético.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes de apresentar a metodologia e os resultados do presente trabalho se torna relevante abordar alguns conceitos básicos para a referenciação e aplicação destes posteriormente. Nesta seção será apresentada uma fundamentação teórica sobre: petróleo, água produzida, normas para tratamento de água produzida, métodos para tratamento da água produzida, adsorção, resíduos do coco (endocarpo e mesocarpo) e agentes hidrofobizantes.

3.1 PETRÓLEO

O petróleo é um composto inflamável, oleoso, com cheiro peculiar e geralmente com densidade mais baixa do que a água (SZKLO, 2008). Constituído pela combinação de hidrocarbonetos e impurezas, ao depender do reservatório explorado, podem ocorrer mudanças com relação as características do petróleo, tais como coloração, densidade, viscosidade, quantidade de enxofre e acidez (THOMAS, 2004).

O petróleo atingiu maior notoriedade no século XIX, quando já se começava seu refino para produção de querosene para iluminação (MORAIS, 2014). O marco inicial do setor petrolífero e sua industrialização ocorreu em 27 de agosto de 1859, na região da Pensilvânia (EUA), quando se deu origem a primeira exploração de petróleo em alta escala que se tem conhecimento, através do primeiro poço perfurado por Edwin Drake, responsável pelas atividades da empresa *Seneca Oil Company* (THOMAS, 2004).

Ao longo das últimas décadas, a indústria do petróleo manteve sua importância, especialmente em relação aos setores de transporte e de ciência e tecnologia, sendo um dos ramos mais influentes na economia mundial, destacando-se na geração e circulação de capital (ROCHA, 2018).

3.2 ÁGUA PRODUZIDA

3.2.1 Definição

No processo de extração do petróleo, além do petróleo e do gás natural, também é produzida uma grande quantidade de água, denominada água produzida. Sua composição depende da formação geológica que a produziu, com altos teores de compostos orgânicos (SILVA *et al.*, 2020).

Rocha (2018) corrobora quando descreve que normalmente essa água é originada em poços

de petróleo devido ao mecanismo de produção do poço que gera uma combinação de água, óleo e gás, em que tais componentes são separados por vasos bifásicos ou trifásicos durante o processamento primário do petróleo. De acordo com Nonato *et al.* (2018) a água produzida é essencialmente a água que se forma naturalmente no reservatório em conjunto com a água que é aplicada no mesmo.

Na maioria dos poços recém-abertos, a produção de água bruta, conhecida como conata, é mínima. À medida que a produção avança, a pressão dentro do reservatório diminui, o que altera o nível de contato entre o óleo e a água conata. O aumento do contato com a agitação do fluido devido à sua migração dentro do reservatório faz com que alguns dos hidrocarbonetos se dissolvam e se dispersem na água, aumentando assim a quantidade de emulsão. Estas emulsões são constituídas por uma fase dispersa (óleo em forma de gotículas) e uma fase contínua (água) (LIMA, 2017).

O volume crescente na geração de água produzida é um fator problemático. Ressalta-se que a cada barril de petróleo extraído, em média são gerados de três a seis barris de água, podendo esse número aumentar ao final da vida produtiva do poço, quando se necessita de uma grande proporção de água para manter a produção (SANTANA, 2009). No começo das operações exploratórias do poço, ou seja, nos primeiros anos de extração, o volume de água é geralmente baixo, a medida em que o reservatório se torna maduro essa quantidade aumenta gradualmente, podendo atingir a taxa de 100% da produção (THOMAS, 2004).

Existem duas fontes distintas de água produzida durante a vida produtiva de um poço de petróleo, pode ser resultado da retenção de água na formação, ou pode ser resultado da água injetada no reservatório para manter a pressão do poço (CARVALHO, 2016). A primeira delas também é conhecida como água conata ou de formação e, como o petróleo, é um fluido que se origina da atividade orgânica que ocorre em formações rochosas e fica preso em armadilhas. À medida que o óleo migra, essa água menos densa é depositada no fundo do reservatório, onde a produção aumenta ao longo da vida do poço à medida que penetra na zona produtiva do reservatório (USGS, 2017).

A segunda vem da injeção de água no reservatório para manter a pressão e assim manter o poço produtivo, pode ser água doce ou mesmo água já produzida, com adição de aditivos. A quantidade total de água produzida pode ser muito maior que a quantidade de óleo produzida, e ao final da vida produtiva do poço, a relação água/óleo (RAO) pode chegar a 98% (SANTACESARIA *et al.*, 2012).

3.2.2 Composição da Água Produzida

A constituição da água produzida está intimamente ligada as condições ambientais de sua origem, ao tipo de reservatório e a composição do petróleo ao qual ela está atrelada por milhares de anos. Isso ocorre porque ao longo da formação do óleo, este fica sujeito a circunstâncias extremas (diferentes temperaturas, alta pressão, reações químicas entre outras). Além disso, pode provir de diferentes tipos rochas sedimentares localizadas em profundidades distintas, tais fatores influenciam na composição tanto desse recurso quanto da água produzida subproduto (STEWART; ARNOLD, 2011). Portanto, a constituição físico-química desse efluente pode variar conforme as condições suportadas no reservatório de origem.

Apesar da sua constituição diversificada, alguns contaminantes são normalmente identificados, tais como sais, graxas e óleos, HPAs - hidrocarbonetos poliaromáticos, BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno, ácidos orgânicos, fenóis, aditivos químicos e metais pesados (JIMÉNEZ *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2019). A Tabela 1 ilustra características de amostras de água produzida originada nos campos do Rio Grande do Norte.

Tabela 1- Composição da água produzida dos campos RN.

| Localidade | Canto do Amaro -RN | Riacho da Forquilha-RN | Serra- RN |
|-----------------------|---------------------|------------------------|-----------|
| Constituinte | Concentração (mg/L) | | |
| Acetato | <LD | 64,981 | 85,144 |
| Brometo | 27,146 | 578,454 | 93,719 |
| Cloreto | 764,557 | 38843,51 | 7732,511 |
| Fluoreto total | - | - | - |
| Formiato | 0,855 | 0,566 | <LD |
| Nitrato | - | - | - |
| Sulfato total | 127,983 | 24,178 | 62,522 |
| Bário total | <LD | 97,83 | 2,864 |
| Cálcio | 83,634 | 446,679 | 121,07 |
| Estrôncio | 10,908 | 120,608 | 39,15 |
| Ferro | <LD | <LD | <LD |
| Magnésio | 32,497 | 8817,958 | 39,11 |
| Potássio | 19,598 | 288,488 | 65,555 |
| Sódio | 897,205 | 7.105,384 | 4993,381 |
| Óleos e graxas | - | - | - |

Fonte: Ribeiro (2015).

Ressalta-se que a graxa e o óleo são os constituintes mais preocupantes em ambas as plataformas (*onshore* e *offshore*), ao passo que o teor de sal, aflige de forma significativa as

atividades em terra (VEIL *et al.*, 2004).

3.3 NORMAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

Para tornar o descarte e reuso da água produzida seguro para sociedade e ao meio ambiente, os órgãos ambientais exigem através de regulamentos, medidas e parâmetros cada vez mais rígidos acerca da condição final desse resíduo (HOSNY *et al.*, 2016). No Brasil, o CONAMA é o órgão responsável pela regulamentação acerca dos parâmetros necessários para o lançamento de efluentes como a água produzida.

De acordo com a Resolução nº 430/2011 que complementa a Resolução nº 357/2005 desse órgão – onde trata sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes – o despejo indireto de rejeitos em corpos receptores deverá observar o que nela é disposto, sempre que é verificada a falta de normas ou legislação específica, bem como disposições de órgãos competentes ou de tratamento de esgoto.

Vale salientar que efluentes de quaisquer fontes poluidoras poderão ser descartados diretamente em corpos receptores após tratamento adequado, desde que cumpram os padrões e exigências especificados na referida resolução ou em normas igualmente aplicáveis. Em relação a água produzida, o Teor de Óleo e Graxa (TOG) é o parâmetro que detém maior atenção dos órgãos fiscalizadores. O CONAMA limita o TOG em 20 mg.L⁻¹ no descarte de efluentes líquidos em corpos receptores (CONAMA, 2011).

Em relação ao descarte em bases marítimas, é especificado na resolução vigente nº 393/2007 que as plataformas não poderão ultrapassar a média aritmética simples de TOG mensal de 29 mg.L⁻¹. Porém, desde que seja honrada a média mensal estipulada, o valor máximo diário para derramamento autorizado é de 42 mg.L⁻¹ (CONAMA, 2007).

3.4 MÉTODOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA

O tratamento da água produzida é essencial com dois objetivos principais. O primeiro objetivo é recuperar os óleos livres e emulsificados presentes na corrente d'água, enquanto o segundo objetivo é adequar a água para possível descarte ou reuso (COUTINHO, 2016).

A qualidade final da água será determinada pela destinação final do efluente e todo o processo de tratamento será definido para adequar os parâmetros da água produzida aos valores máximos especificados na legislação. Além disso, se o tratamento não for viável técnica e economicamente, então é inútil e fatores como quantidade de água envolvida, composição da água e localização do campo precisam ser considerados (XU, 2013).

Para o tratamento da água produzida, diferentes processos químicos, físicos e biológicos são utilizados para remover os componentes contaminantes (COUTINHO, 2016). Na maioria dos casos, a remoção virá de uma combinação de tratamentos. Os métodos de tratamento mais difundidos são: separadores por gravidade, hidro ciclones, flotação, floculação, filtração, adsorção, processos de separação por membranas etc. (BORGES, 2017).

As petrolíferas buscam utilizar diversas técnicas para tratamento da água produzida, com o propósito de eliminar a maior quantidade possível de óleo (encontrado sob formas livre, dissolvido ou em emulsão), graxas, gases, sólidos suspensos e bactérias, adequando-a para posterior descarte no mar, reinjeção nos poços ou outras formas de reuso (MOTTA, 2013; NONATO, 2018; CABRAL e SANTOS, 2019).

De acordo com Nonato *et al.* (2018) além dos tratamentos baseados em hidrociclones e flutuadores, tradicionalmente utilizados nas plataformas *offshore*, existem outras tecnologias sendo desenvolvidas para uma gestão mais assertiva da água contaminada por óleo, como por exemplo a adsorção e o processo eletroquímico. Após os devidos procedimentos, o efluente poderá ser descarregado ao meio ambiente desde que se cumpra os parâmetros estipulados na legislação vigente (EBRAHIMI *et al.*, 2018).

Os pesquisadores Igunnu e Chen (2014) compararam diversas técnicas usadas para o gerenciamento da água de produção, tais como a filtração por membrana, microfiltração, membranas poliméricas ou cerâmicas, osmose reversa ou nanofiltração, tecnologias térmicas, destilação multiefeitos, destilação por compressão de vapor, filtros aerados biológicos, além de flotação de gás, adsorção, eletrodialise, entre outras. Nesse âmbito, Nonato *et al.* (2018) relatam que a adsorção é um dos mais simples métodos utilizados de tratamento de efluentes com a finalidade de reduzir o TOG.

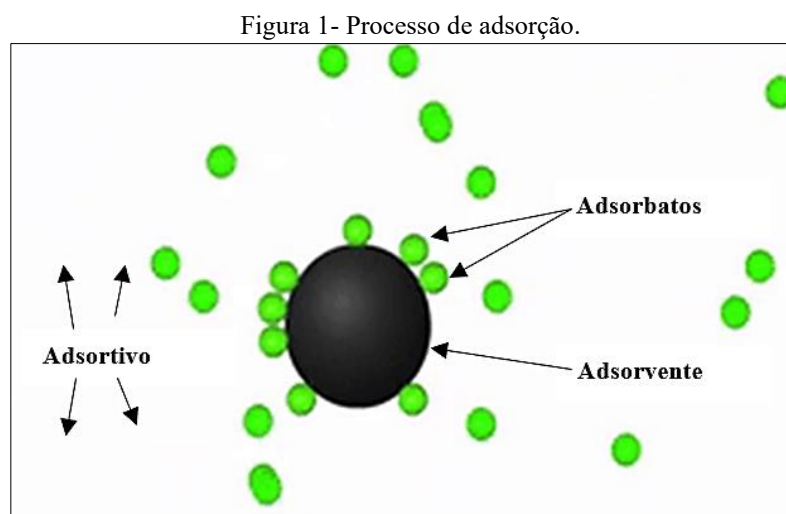
3.5 ADSORÇÃO

3.5.1 Definição e classificação

A adsorção faz parte de uma ampla diversidade de operações e processos químicos, físicos e biológicos ocorridos no meio ambiente. Este processo atua de forma protagonista em questões fundamentais à vida, como no controle da poluição do ar através da purificação de gases e na descontaminação da água (WALTER; SMITH, 1987). Apesar de ser um método genuíno da natureza, a adsorção tem notoriedade em diversos estudos acerca da remoção de rejeitos ou separação de elementos, sendo testada tanto como tratamento unitário quanto combinado com outras técnicas para aprimorar sua aplicabilidade na indústria.

A adsorção consiste na transferência de um ou mais elementos (adsorbatos) contidos em uma fase fluida ou gasosa (adsortivo) para a superfície de uma fase sólida (adsorvente). Para tanto, se faz necessário um estudo aprofundado acerca da capacidade de adsorção do adsorvente em relação aos constituintes presentes no adsortivo, para proporcionar a separação dos componentes de interesse (RUTHVEN, 1984; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A Figura 1 ilustra como ocorre o processo de transferência de adsorbatos durante o processo de adsorção:



Fonte: <https://blog.carvvo.com.br>.

Geralmente, os adsorventes que dispõem muita porosidade e maior interface de contato desenvolvem uma adsorção mais eficiente, posto que os componentes a serem adsorvidos são atraídos até a superfície do adsorvente, em razão desta conter a existência de forças intermoleculares não equilibradas (RUTHVEN, 1984). Embora os adsorventes constituídos por partículas altamente porosas resultem na melhoria da superfície para a adsorção, a existência da difusão intrapartícula pode reduzir a capacidade disponível de adsorção, principalmente para macromoléculas (MAK e CHEN, 2004).

A pesquisadora Cuevas (2011) explica que a adsorção é um fenômeno físico-químico superficial que pode ser classificado nos seguintes tipos:

- Adsorção química ou quimissorção - processo no qual as moléculas se ligam a interface do adsorvente, através de ligações químicas com transferências de elétrons entre o adsorvato e o adsorvente. Essa possui variação de entalpia de adsorção entre 40 e 1000 kJ/mol, e ocorre essencialmente por meio da formação de uma monocamada de adsorvato sobre a superfície do adsorvente.

- Adsorção física ou fisissorção - processo no qual as moléculas do adsorvente se conectam com o adsorvato através das forças de van der Waals (forças de polarização, dipolo-dipolo ou dipolos - induzidos), ou seja, pela diferença de energias, sem formar ligações químicas. Possui variação de entalpia de adsorção entre 10 e 40 kJ/mol. Em geral, ocorre em multicamadas, sendo rápida e reversível.

Existem muitas diferenças entre os tipos de adsorção citados. A Tabela 2 apresenta algumas das principais distinções.

Tabela 2 - Diferenças entre a adsorção física e química.

| Adsorção física | Adsorção química |
|--|---|
| Baixo calor de adsorção (2 ou 3 vezes menos que o calor latente de evaporação) | Alto calor de adsorção (2 ou 3 vezes maior que o calor latente de evaporação) |
| Não específica | Altamente específica |
| Monocamada ou multicamada | Apenas monocamada |
| Nenhuma dissociação de espécies adsorvidas | Pode ocorrer dissociação |
| Significante apenas em temperaturas relativamente baixas | Possível em uma ampla faixa de temperatura |
| Rápida, reversível e não ativada | Ativada, pode ser lenta e irreversível |
| Sem transferência de elétrons (embora possa ocorrer polarização de sorbato) | Transferência de elétrons levando à formação de ligações entre sorbato e superfície |

Fonte: Adaptado de Ruthven (1984).

Logo, entende-se que a adsorção física é um processo reversível no qual as moléculas entram em contato com a superfície do meio filtrante e se ligam a ele por força mecânica. A transferência de energia, como calor, faz com que as moléculas fechem a superfície do adsorvente. Dessa forma, meios filtrantes podem ser gerados e reutilizados (SILVA *et al.*, 2016).

O processo de adsorção pode ser afetado por diversos fatores, tais como: temperatura, natureza e massa do adsorbato, natureza do adsorvente e seu estado de agregação, pH, tamanho de partícula, tempo de contato e velocidade de agitação. Experimentalmente, um sistema adsorvente-adsorbato é considerado em equilíbrio quando a concentração da fase a ser diluída não muda independentemente do tempo de contato entre o adsorvente e a espécie a ser adsorvida (BORGES, 2017).

3.5.2 Resíduos orgânicos como adsorventes

Atualmente, muitos pesquisadores têm estudado o processo de adsorção usando adsorventes orgânicos. Pereira (2019) utilizou resíduos de casca de arroz para transformá-los em cinzas. Seu estudo relata remoção de cerca de 93% do cobre da água produzida. Domingues *et al.* (2021) sintetizaram carvão ativado a partir da casca de laranja para remoção de nitrato da água. Outro uso para o resíduo é a erva-mate, também utilizada de forma sintetizada em carvão ativado por pirólise para remover contaminantes de água, removendo aproximadamente 100% do cobre presente (MEURER; VARGAS, 2019).

Estudos mostraram que, no caso das fibras de coco (mesocarpo), a adsorção do efluente aumenta em até 205% quando a biomassa utilizada possui granulometria fina entre 1,70 mm e 850 micrômetros. O menor aumento foi observado na serragem, que aumentou 57%, e a relação entre viscosidade e adsorção de óleo foi inconsistente (XU, 2013).

Na fibra de bananeira, os resultados mostraram maior adsorção (60%) nos experimentos com óleos de menor viscosidade (9,38 cP < 10,49 cP), enquanto para *Salvinia sp.* O óleo cru mais viscoso (237 cP) obteve melhor adsorção do que a vaselina (13 cP). Essa diferença pode ser explicada pelas propriedades do óleo, pois o petrolato e o petróleo mais viscoso apresentam maior parafinação e, portanto, maior dificuldade de fluir para os poros do adsorvente (USGS, 2017).

3.6 RESÍDUOS DO COCO (ENDOCARPO E MESOCARPO) COMO ADSORVENTES

Abundantemente encontrado em países tropicais, como o Brasil, o coco (*cocos nucifera*) é um fruto com casca porosa, seca, fibrosa e espessa chamada mesocarpo. Essa casca é rica em lignina, hemicelulose e celulose, o que justifica sua elevada durabilidade (CRAVO, 1995; GONÇALVES *et al.*, 2014).

Para melhor compreensão acerca dos elementos presentes no coco, a Figura 2 descreve como esse fruto é dividido:

Figura 2 - Descrição das divisões do coco.



Fonte: Portal Embrapa (2019).

Desse fruto, somente a polpa e a água contida em seu interior são consumidas, enquanto todo o restante é descartado, incluindo o endocarpo, epicarpo e mesocarpo. A produção de resíduos do coco no país alcança uma média de 2,7 milhões de toneladas/ano, tendo em vista que o Brasil é o quinto maior produtor em escala mundial, sendo a região nordeste responsável por cerca de 71% do total (BRAINER; XIMENES, 2020).

Os principais produtos de coco são água de coco, leite de coco e coco ralado extraído da polpa de coco (copra). Esta copra pode ser utilizada na indústria de combustíveis, indústria de sabão, resinas, cosméticos, pesticidas etc. O óleo de coco, outro produto derivado da copra, possui alto grau de saturação e estabilidade e é utilizado na culinária, combustível, produção cosmética e farmacêutica (MUNIZ; BRAGA, 2015).

Do mesocarpo e do endocarpo podem ser extraídas fibras usadas para fazer cordas, redes e tapetes. O endocarpo também pode ser usado como cabaças, colheres, botões e carvão ativado. O endocarpo de coco é um subproduto que, devido ao seu alto poder calorífico e baixo teor de cinzas, possibilita seu uso em indústrias metalúrgicas e artesanais, em substituição ao carvão (SILVA *et al.*, 2016).

A casca de coco é um subproduto da extração de fibras de diferentes comprimentos e é utilizada na fabricação de itens muito ricos e diversos, construção civil, indústria de biocombustíveis etc. A casca de coco verde, chamada de mesocarpo, representa 80 a 85 por cento do peso total da fruta. Esse material é constituído por fibras lignocelulósicas, formadas a partir de lignina, celulose e hemicelulose, além de ceras, extratos e compostos inorgânicos (cinzas) (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

Considerando o potencial de recuperação econômica por meio de diversas formas de aplicação, os resíduos de coco produzidos em massa e descartados refletem a necessidade de

reciclar esses resíduos (BORGES, MORAIS e MATTEDI, 2015). De acordo com Azevedo *et al.* (2008) a alta porosidade, superfície irregular e os grupos funcionais contidos na casca do coco como carbonila, carboxila, hidroxila e outros ajudam no fenômeno da adsorção.

Tais características incentivam o desenvolvimento de estudos acerca das propriedades de adsorção do coco, exemplo desse fato são as pesquisas realizadas recentemente por Espasandim *et al.* (2019), Limeira e Leite (2021) e Santos (2022), as quais evidenciam a capacidade adsorptiva dos resíduos do coco para a remoção de contaminantes como: cobre, chumbo, níquel e zinco.

Diante do exposto, podemos apontar três grandes vantagens para o uso desse material como adsorvente, seriam: baixo custo, elevada disponibilidade, e morfologia facilitadora para o processo de adsorção.

3.7 AGENTES HIDROFOBIZANTES

De acordo com Domingos *et al.* (2020) agentes hidrofobizantes são substâncias que contribuem para o aumento da aversão do adsorvente em relação a água, dessa forma, potencializa a capacidade de adsorção sobre os materiais presentes. Dentre os agentes hidrofobizantes mais destacados pela literatura cita-se: A parafina, o óleo de linhaça e a cera de carnaúba.

Segundo Santos (2010) a parafina é um material hidrofobizante devido sua superfície ser formada por cadeias de éter e benzeno. De acordo com Borba *et al.* (2013), a cera de carnaúba contém grande cadeia de hidrocarbonetos, ésteres e ácidos, fatores que favorecem altamente o processo de hidrofobização quando em contato com resíduos de origem orgânica. Tais materiais são facilmente encontrados no âmbito nacional e possuem baixo custo, ou seja, o seu uso para potencializar o tratamento por adsorção não seria um fator oneroso para a indústria, e pode proporcionar eficiência desse processo.

Ao contrário dos agentes hidrofobizantes, os inibidores de adsorção são materiais e substâncias indicados para proteger os materiais metálicos em meios ácidos, pois se adsorvem sobre as regiões anódicas e/ou catódicas, protegendo o material (CARDOSO *et al.*, 2005). Os inibidores de adsorção, em geral, são compostos orgânicos contendo insaturações ou grupos polares ligados fortemente, podem conter oxigênio, nitrogênio ou enxofre, é o caso dos aldeídos e aminas (GENTIL., 1996). É importante ter conhecimento prévio sobre inibidores, visto que provocam a ausência ou lentidão no processo de adsorção.

Estudos testando diferentes inibidores orgânicos e inorgânicos na flotação direta de minérios de fosfato de sílica carbonato no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear

(CDTN/CNEN). Os testes foram realizados em células mecânicas de Darma com óleo de coco como coletor, espumante Flotanol D25 em pH 10, variando as doses de inibidor. São eles: Hexametáfosfato de Sódio, Silicato de Sódio, Amido de Milho, Amido de Tapioca, Amidos Modificados I e II, Dextrina e CMC (Carboximetil Celulose) (NUNES, 2015).

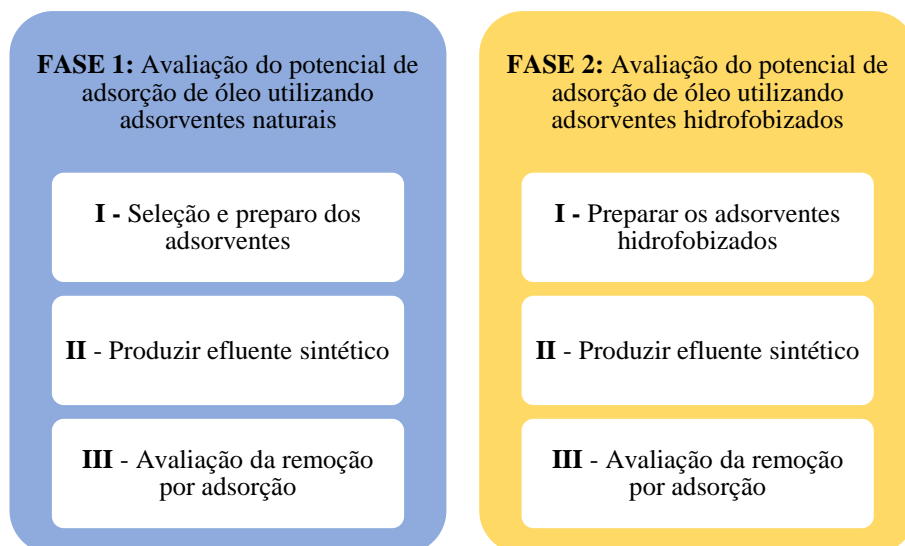
O amido de tapioca e o amido de milho continham 83% e 74% de amilopectina, respectivamente. Analisando os resultados, concluíram que a mandioca e o amido de milho foram os melhores inibidores, principalmente a calcita. No entanto, possivelmente por conter mais amilopectina em sua estrutura, a tapioca tem se mostrado mais eficaz que o amido de milho (JAFELICE, 2013).

4. METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios foi utilizado como fonte de óleo, o diesel S500, adquirido em postos de combustíveis no município de Mossoró-RN. Como bioadsorventes, foram usados o endocarpo e o mesocarpo do coco, como também uma amostra de carvão ativado comercial para comparação. E como agentes hidrofobizantes, foram testados a parafina e a cera de carnaúba.

As fases metodológicas foram divididas em duas etapas. Cada uma foi dividida em três subetapas, conforme mostrado na Figura 3:

Figura 3 - Fases da pesquisa.



Fonte: Autor (2022).

4.1 FASE 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES NATURAIS

4.1.1 Seleção e preparo dos adsorventes

Mesocarpo e endocarpo do coco

Para a realização dos experimentos, os resíduos do coco foram obtidos na cidade de Mossoró-RN. O processo de pré-tratamento seguiu, de forma adaptada, a metodologia adotada por Fernandes (2010) e Martins *et al.* (2018). Primeiro, o mesocarpo e o endocarpo foram separados do fruto, cortados de forma manual. O endocarpo também passou por raspagem. Separadamente, cada material passou por processo de lavagem em água corrente, com o objetivo de retirar qualquer sujidade que possa comprometer a confiabilidade dos ensaios. Logo depois, toda a fibra obtida foi seca em estufa por 24 horas consecutivas a 65°C. Em seguida, o material foi submetido a trituração, para tanto, foi usado um moinho de facas (marca SOLAB SL-32). Finalmente, cada espécie de fibra foi separada por faixa granulométrica, utilizando peneiras de aço inoxidável do tipo Tyler, em três faixas: (0,15-0,30), (0,30-0,60) e (0,60-1,0) mm. As amostras foram reservadas.

Carvão ativado (CA)

Foi utilizada uma amostra de carvão ativado comercial nomeada por WV1050 para fins comparativos como adsorvente. A amostra de carvão foi produzida pela empresa americana Mead- Westvaco e foi gentilmente cedida pelo Grupo de Pesquisa em Separações por Adsorção da Universidade Federal do Ceará. A amostra usada tem granulometria na faixa de (1,0 -1,70) mm. Previamente ao experimento de remoção, o adsorvente passou por ativação a 120 °C durante 3 horas e foi resfriado até a temperatura ambiente. O objetivo da ativação térmica é remover quaisquer substâncias que estejam em contato com o adsorvente.

4.1.2 Síntese do efluente oleoso

Para preparar o efluente oleoso, foi utilizada uma metodologia adaptada descrita em Barbosa *et al.* (2018) e Domingos *et al.* (2020). O efluente sintético foi produzido utilizando água destilada e óleo diesel do tipo S500. Foi utilizado o óleo diesel S500 como fonte oleoso devido a facilidade de obtenção. A proporção seguida de razão óleo/água foi de 20% em volume, isto é, cada litro de efluente emulsionado contém 0,8 litro de água destilada e 0,2 litro de óleo diesel.

Para formar a emulsão, a mistura água e óleo foi posta sob agitação constante durante 30 segundos em um agitador Hamilton Beach e em seguida por 50 minutos em mesa agitadora (modelo SL 1821A, SOLAB). Esse procedimento tem a finalidade de proporcionar o máximo de

ruptura das gotículas do óleo, para que este de fato se agregue a água, resultando em uma emulsão mais próxima a água produzida verdadeira. Posteriormente, a mistura foi colocada em um funil de separação por 24 horas, aproximadamente. Separada as fases (óleo e efluente emulsionado), fração emulsionada foi retirada para realizar os ensaios de remoção do óleo.

4.1.3 Avaliação da remoção de óleo através de ensaios em banho finito

Antes dos ensaios, o fluido foi separado em volumes iguais para medir. Uma das alíquotas do efluente oleoso foi usada como referência para medir a turbidez inicial.

Os ensaios foram realizados em banho finito com o auxílio de erlenmeyers de 250 ml. Em cada erlenmeyer, diferentes massas do adsorvente com diferentes granulometrias foram colocadas em contato com 190 ml de fluido sintético. Foram analisadas três faixas de granulometria. A Tabela 3 mostra detalhadamente cada configuração dos ensaios realizados.

Tabela 3 – Configuração experimental dos ensaios (Fase 1).

| Nº do ensaio | Tipo de Adsorvente | Massa do adsorvente | Faixa granulométrica (mm) |
|--------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| 1 | | 1g | (0,60-1,0) mm |
| 2 | | 3g | (0,60-1,0) mm |
| 3 | Mesocarpo | 5g | (0,60-1,0) mm |
| 4 | | 3g | (0,15-0,30) mm |
| 5 | | 3g | (0,30-0,60) mm |
| 6 | | 3g | (0,15-0,30) mm |
| 7 | | 3g | (0,30-0,60) mm |
| 8 | Endocarpo | 3g | (0,60-1,0) mm |
| 9 | | 5g | (0,60-1,0) mm |
| 10 | | 3g | (1,0 -1,70) mm |
| 11 | Carvão Ativado | 3g | (1,0 -1,70) mm |

Fonte: Autor (2022).

Os erlenmeyers foram colocados em uma incubadora tipo Shaker SL 222 (SOLAB), e submetidas a agitação com rotação de 170 rpm a temperatura constante de 30 °C durante 12 h. Posteriormente, as amostras foram retiradas e colocadas para decantar por 5 horas. Por fim, foram retiradas alíquotas de fluido de cada ensaio para medição da turbidez.

O potencial de remoção dos adsorventes foi avaliado de forma qualitativa através da medição da turbidez (em *Nephelometric Turbidity Unity* - NTU) do fluido sintético, antes e após os experimentos de adsorção. Para tanto, foi utilizado um turbidímetro do tipo AP 2000 W, marca PoliControl®. Ressalta-se que para cada teste de turbidez foi realizado 3 medições (isto é, em triplicada) e o valor considerado foi determinado pela média aritmética dentre as medições.

Para mostrar de forma mais clara os níveis de remoção do óleo através do teste de turbidez, optou-se por trabalhar com as porcentagens de remoção de turbidez do fluido, dado que dispomos da turbidez inicial e final do referido. A porcentagem de remoção de óleo foi calculada pela equação a seguir:

$$\%Remoção = \left(1 - \frac{T_f}{T_i}\right) * 100\% \quad (Eq. 1)$$

Onde, %Remoção simboliza a porcentagem de remoção de turbidez do efluente sintético, T_i representa o valor da turbidez (em NTU) do fluido não tratado e T_f diz respeito a turbidez do fluido depois do tratamento por adsorção.

4.2 FASE 2: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES HIDROFOBIZADOS

4.2.1 Hidrofobização dos resíduos do coco

Inicialmente, o mesocarpo e o endocarpo do coco passaram pelo mesmo pré-tratamento descrito na fase 1 (vide 4.1.1). Após o material ser triturado em um moinho de facas, este foi separado por tamanho de partícula, utilizando peneiras Tyler, nas classificações granulométricas pretendidas: Para o mesocarpo do coco (0,15 - 0,30 mm) e (0,60 - 1,0 mm), enquanto para o endocarpo foi separada apenas a faixa (0,60 - 1,0 mm). A Tabela 4 apresenta cada configuração dos ensaios desenvolvidos nessa fase.

Depois do tratamento, os adsorventes passaram por processo de hidrofobização em manta aquecedora. Em cada ensaio foi acrescentado (em gramas previamente pesadas) um agente

hidrofobizante (cera de carnaúba ou parafina). Para cada grama (g) do material, foi adicionado 20% em peso de agente hidrofobizante. O material foi reservado para os posteriores ensaios de adsorção.

Tabela 4 – Configuração experimental dos ensaios (Fase 2).

| Nº do ensaio | Tipo de Adsorvente | Faixa granulométrica (mm) | Massa do adsorvente |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1 | Mesocarpo Natural | (0,15-0,30) mm | 1,5g |
| 2 | | (0,60-1,0) mm | |
| 3 | Mesocarpo Hidrofobizado com Cera | (0,15-0,30) mm | |
| 4 | | (0,60-1,0) mm | |
| 5 | Mesocarpo Hidrofobizado com Parafina | (0,15-0,30) mm | |
| 6 | | (0,60-1,0) mm | |
| 7 | Endocarpo Natural | (0,60-1,0) mm | |
| 8 | Endocarpo Hidrofobizado com cera | (0,60-1,0) mm | |
| 9 | Endocarpo Hidrofobizado com Parafina | (0,60-1,0) mm | |

Fonte: Autor (2022).

4.2.2 Avaliação da remoção de óleo usando adsorventes hidrofobizados

O efluente oleoso foi preparado de forma análoga a metodologia descrita na fase 1 (vide 4.1.2). Os ensaios foram realizados através de sistema de banho finito. Em cada erlenmeyer, foi utilizado 1,5 g do material adsorvente para permanecer em contato com 95 ml da emulsão. No total foram realizados 9 testes diferentes, destes, 6 envolveram o uso do mesocarpo nas faixas (0,15 - 0,30 mm) e (0,6 - 1,0 mm). Os 3 ensaios restantes dizem respeito ao uso do endocarpo na faixa (0,6 - 1,0 mm). Para efeitos de estudo comparativo nessa fase do trabalho, em cada classificação granulométrica do mesocarpo e do endocarpo, foram feitos um conjunto de 3 ensaios distintos (adsorvente natural, adsorvente hidrofobizado com cera, adsorvente hidrofobizado com parafina) de forma individual, para avaliar o efeito da hidrofobização.

Em seguida, todos os erlenmeyers foram colocados em uma mesa agitadora, sob temperatura de 30 °C e rotação de 75 rpm por 12 horas. Após este período, os erlenmeyers foram retirados da mesa agitadora e colocadas para decantar por 4 horas. Por último, pequenas alíquotas de cada um dos testes foram retiradas para medição de turbidez, conforme descrito anteriormente (vide 4.1.4).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESULTADOS RELACIONADOS A FASE 1: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES NATURAIS

Nesta etapa do estudo, a finalidade foi avaliar o potencial de adsorção dos adsorventes (*in natura*) e estudar o efeito das variáveis: massa do bioadsorvente (em grama) e o tamanho da partícula (faixa granulométrica) do adsorvente. O uso de amostras com carvão ativado comercial foi pertinente apenas para efeito comparativo. Salienta-se que a medição da turbidez inicial do efluente sintético para a realização de todos os ensaios resultou em uma média de 774 NTU.

5.1.1 Efeito da massa dos adsorventes

Mesocarpo do coco (*in natura*)

Tendo como propósito avaliar a capacidade de adsorção do mesocarpo do coco em sua forma natural, foi fixada a granulometria de maior tamanho de partícula (0,6 - 1,0) mm, enquanto se variou a massa do bioadsorvente em 1, 3 e 5 g.

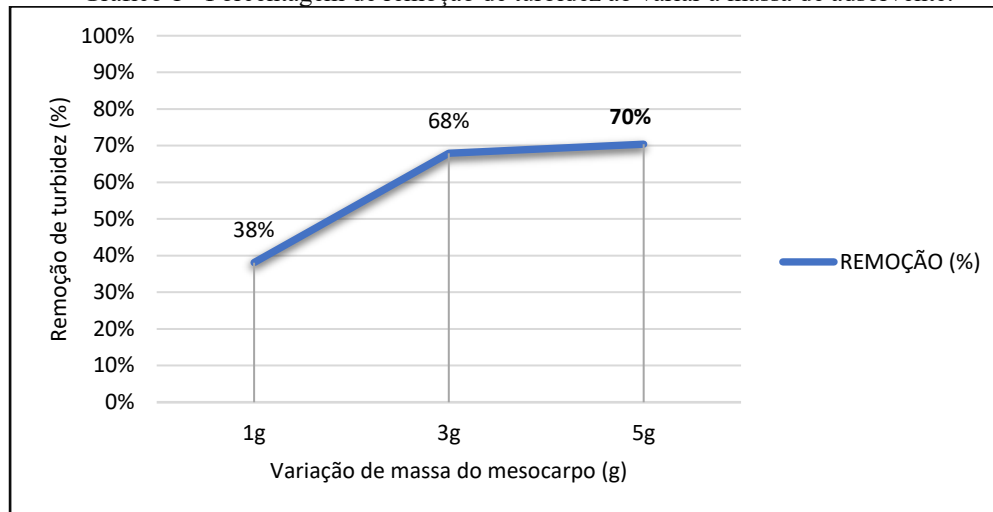
Conforme os resultados expostos na Tabela 5, nota-se que a maior porcentagem de remoção de turbidez foi de 70% referente ao ensaio 3, onde se utilizou a maior massa de mesocarpo (5 g) por volume de fluido fixado (190 ml). Esse resultado colabora com o trabalho de Ehishan e Sapawe (2018), o qual obtiveram conclusões semelhantes acerca da influência do aumento de massa do adsorvente, onde mostra-se certa linha crescente de remoção, à medida que se eleva a massa do material no fluido sintético. Os dados também estão apresentados no Gráfico 1.

Tabela 5 - Resultados acerca do efeito da massa do mesocarpo para a remoção de turbidez.

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

Fonte: Autor (2022).

Gráfico 1 - Porcentagem de remoção de turbidez ao variar a massa de adsorvente.



Fonte: Autor (2022).

Endocarpo do coco (*in natura*)

Para avaliar o potencial de adsorção do endocarpo do coco *in natura*, também foi fixada a granulometria de maior tamanho de partícula (0,6 - 1,0) mm, enquanto se variou a massa do endocarpo em 3 e 5g.

De acordo com os dados mostrados na Tabela 6, mesmo aumentando a massa do adsorvente de 3 g para 5 g, a porcentagem de remoção obteve pequena taxa de aumento, de 28,55% para 33,72%, o que demonstra pouca influência sobre a quantidade de óleo removida.

Tabela 6 - Resultados acerca do efeito da massa do endocarpo para a remoção de turbidez.

| Nº ensaio | Massa (g) | Turbidez Final (NTU) | Remoção (%) |
|-----------|-----------|----------------------|-------------|
| 8 | 3g | 553 | 28,55% |
| 9 | 5g | 513 | 33,72% |

Fonte: Autor (2022).

5.1.2 Efeito do tamanho da partícula (faixa granulométrica) dos adsorventes

Mesocarpo do coco (*in natura*)

Para avaliar o efeito da granulometria, foi fixada a massa em 3 g. Os ensaios foram realizados em três faixas granulométricas: (0,15-0,30), (0,30 - 0,60) e (0,60-1,0) mm. Conforme mostrado na Tabela 7, notoriamente, para todas as faixas, houve remoção significativa da turbidez do efluente. Salienta-se que o ensaio 4 obteve melhor porcentagem de remoção de turbidez (71%), correspondente a menor faixa granulométrica (0,15-0,3) mm.

Tabela 7 - Resultados acerca do efeito da granulometria do mesocarpo para a remoção de turbidez.

| Nº ensaio | Faixa (mm) | Turbidez Final (NTU) | Remoção (%) |
|-----------|----------------|----------------------|-------------|
| 4 | (0,15-0,30) mm | 225 | 71% |
| 5 | (0,30-0,60) mm | 351 | 55% |
| 2 | (0,60-1,0) mm | 248 | 68% |

Fonte: Autor (2022).

Observa-se que a análise acerca dos resultados sobre o efeito do tamanho da partícula do adsorvente fortalece a teoria de que quanto maior a superfície de contato do adsorvente, maior tende ser o seu potencial de adsorção. Essa teoria também se confirmou nos estudos de Al-Futaisi *et al.* (2007) e Lo Toledo *et al.* (2017).

Endocarpo do coco (*in natura*)

Da mesma maneira realizada para o mesocarpo, os ensaios utilizando o endocarpo de coco avaliaram três faixas granulométricas: (0,15-0,30), (0,30-0,60) e (0,60-1,0) mm e massa fixada em 3 g. A Tabela 8 revela que o efeito da granulometria para o endocarpo não atingiu valores sobressalentes entre si, com pouca significância na remoção da turbidez do fluido.

Tabela 8 - Resultados acerca do efeito da granulometria do endocarpo para a remoção de turbidez.

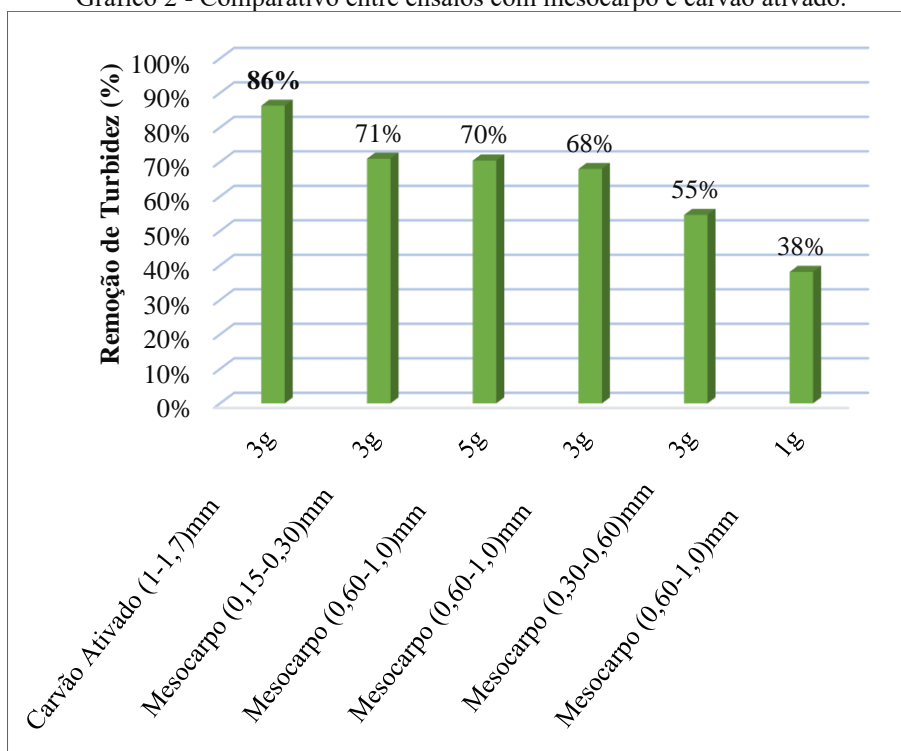
| Nº ensaio | Faixa (mm) | Turbidez Final (NTU) | Remoção (%) |
|-----------|----------------|----------------------|-------------|
| 6 | (0,15-0,30) mm | 606 | 21,71% |
| 7 | (0,30-0,60) mm | 564 | 27,13% |
| 8 | (0,60-1,0) mm | 553 | 28,55% |

Fonte: Autor (2022).

5.1.3 Comparação dos ensaios entre os adsorventes alternativos e carvão ativado

De acordo com o esperado, os ensaios de adsorção com carvão ativado atingiram a maior porcentagem de remoção dentre os presentes testes, atingindo uma média de 86% para os dois ensaios duplicados. Para tanto, foi utilizado 3g de carvão comercial na faixa granulométrica (1,0-1,70) mm para 190 ml de efluente. O comparativo geral dos resultados utilizando mesocarpo e o adsorvente comercial como comparativo podem ser visualizados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Comparativo entre ensaios com mesocarpo e carvão ativado.

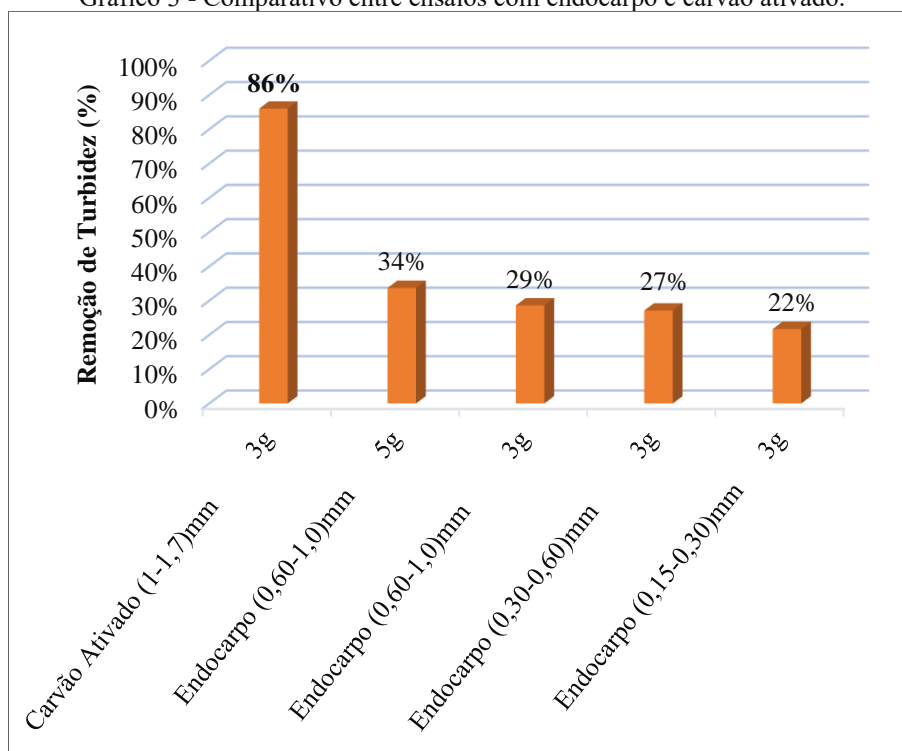


Fonte: Autor (2022).

Conforme mostrado no Gráfico 2, os resultados mostraram que o mesocarpo do coco possui grande potencial para adsorção, mesmo em seu estado natural. O melhor percentual de remoção ocorreu para o ensaio de menor faixa granulométrica (0,15-0,30) mm, atingindo 71% de remoção de turbidez, uma taxa aproximada também ocorreu no ensaio com maior massa de massa (5g).

O Gráfico 3 expõe os percentuais de remoção de turbidez do efluente sintético para cada ensaio realizado utilizando o endocarpo de coco e o resultado referente ao adsorvente comercial, como efeito comparativo. Observa-se que há uma grande lacuna entre a porcentagem de remoção do carvão ativado e os ensaios com o endocarpo do coco. Os testes indicam que apesar da ocorrência de adsorção, o endocarpo exibe baixo potencial de remoção de turbidez, atingindo um máximo de percentual de apenas 34 % quando se utilizou 5 g de endocarpo.

Gráfico 3 - Comparativo entre ensaios com endocarpo e carvão ativado.



Fonte: Autor (2022).

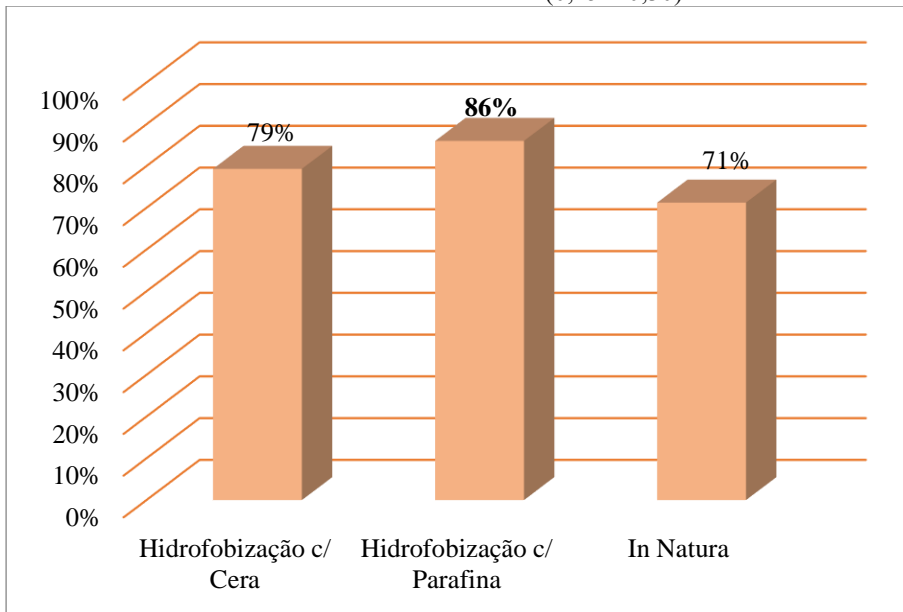
5.2 RESULTADOS RELACIONADOS A FASE 2: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DE ÓLEO UTILIZANDO ADSORVENTES HIDROFOBIZADOS

A segunda fase da metodologia foi desenvolvida com o objetivo de avaliar o potencial de adsorção de óleo dos resíduos de coco (Mesocarpo e Endocarpo) hidrofobizados com cera de carnaúba e parafina. Conforme realizado na fase 1, os testes de turbidez para o efluente sintético preparado nessa etapa atingiram uma média inicial de 619 NTU.

Foram realizados um total de 9 ensaios nas configurações apresentadas na Tabela 4 (vide 4.2.1). As medições de turbidez foram feitas após o contato com os adsorventes naturais e hidrofobizados. Os resultados em porcentagem de remoção estão ilustrados nos Gráficos 4, 5 e 6.

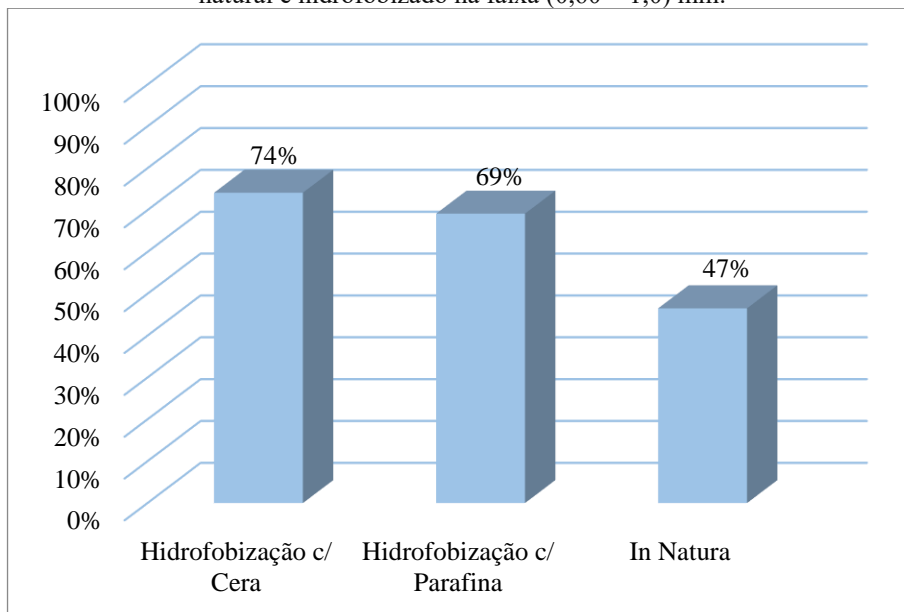
A partir dos Gráficos 4 e 5, podemos inferir que os efeitos da hidrofobização do mesocarpo do coco com os agentes (cera de carnaúba e parafina), para as faixas granulométricas (0,15-0,30) e (0,60-1,0) mm tiveram resultados notoriamente superiores ao uso dos mesmos resíduos *in natura*. Portanto, o processo de hidrofobização contribuiu para o aumento do potencial de adsorção dos adsorventes. O mesmo se aplica para os resultados referentes ao uso do endocarpo do coco (ver o Gráfico 6).

Gráfico 4 - Percentuais de redução de turbidez para o uso do mesocarpo do coco natural e hidrofobizado na faixa (0,15 – 0,30) mm.



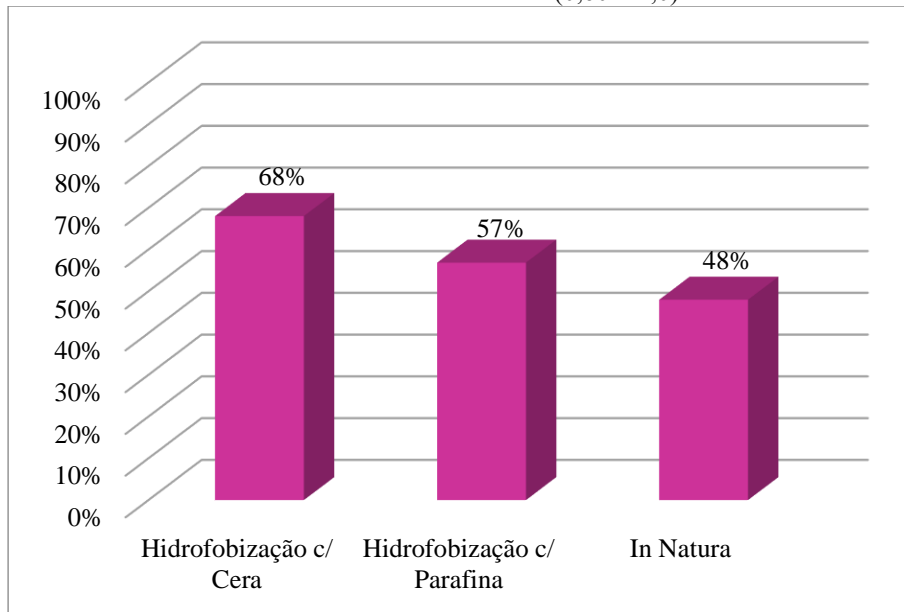
Fonte: Autor (2022).

Gráfico 5 - Percentuais de redução de turbidez para o uso do mesocarpo do coco natural e hidrofobizado na faixa (0,60 – 1,0) mm.



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 6 - Percentuais de redução de turbidez para o uso do endocarpo do coco natural e hidrofobizado na faixa (0,60 – 1,0) mm.



Fonte: Autor (2022).

6. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o potencial de adsorção de óleo presente em efluente sintético simulando água produzida, aplicando endocarpo e mesocarpo (resíduos agroindustriais do coco) como adsorventes alternativos. Dentro desse macro objetivo, também se estudou a influência do tamanho de partícula (granulometria) e o efeito da quantidade de massa dos adsorventes. Os resultados foram analisados em relação a um carvão ativado comercial. Além disso, se avaliou o potencial de adsorção dos resíduos hidrofobizados com os agentes parafina e cera de carnaúba. Para análise, foram utilizadas medições da turbidez do fluido antes e após o tratamento.

Os resultados mostraram que em estado natural, os resíduos em pauta reduziram notoriamente a turbidez do efluente oleoso sintético, especialmente o mesocarpo do coco por atingir taxas de remoção significativas (superiores a 70%).

As análises referentes a influência do tamanho de partícula e quantidade de massa dos adsorventes revelaram que existe impacto dessas variações na remoção. Conforme foi evidenciado nos ensaios com o mesocarpo do coco nas duas fases da metodologia, à medida que se reduz a granulometria das partículas, aumenta-se a superfície de contato entre adsorvente e adsorbato. Este aumento tende a fomentar maior integração entre as forças intermoleculares, o que se reflete na adsorção do óleo. Todavia, essa influência não se replicou para os ensaios com endocarpo do coco. Quanto ao efeito da quantidade de massa do adsorvente, se pôde constatar que existe tendência

positiva a respeito do aumento da massa. O percentual de redução de turbidez aumenta ao instante que se aplica maiores quantidades do adsorvente.

Em relação ao uso comparativo do carvão ativado comercial e das biomassas, como se esperava, o primeiro obteve a maior porcentagem de remoção (86,30%) em comparação aos melhores resultados do mesocarpo (71%) e do endocarpo (33,70%) em estado natural.

Acerca dos ensaios de adsorção feitos com os adsorventes hidrofobizados, se constata que a aplicação desses agentes hidrofobizantes desempenham um papel de potencializador, no que tange as propriedades de adsorção das biomassas estudadas. Os percentuais de remoção de óleo para todas as amostras atingiram valores muito superiores em relação aos adsorventes *in natura*.

Ressalta-se que dentre todas as configurações de ensaios realizados, as porcentagens mais elevadas de remoção de turbidez ocorreram para as amostras de menor faixa granulométrica (0,15-0,30) mm do mesocarpo do coco hidrofobizado com parafina (86%) e do referido adsorvente hidrofobizado com cera (79%).

Diante dos resultados, os resíduos do coco têm potencial para ser um adsorvente alternativo para o tratamento da água produzida de campos de petróleo, sendo também uma forma de minimizar a poluição causada pelos resíduos do coco. Todavia, o estudo de outros parâmetros (à saber: temperatura, pH, período de contato etc.), diferentes pré-tratamentos e técnicas mais eficientes de medição de remoção podem contribuir para a eficiência dos resultados. Assim, como sugestão para estudos posteriores, podem ser investigadas a influência de outras variáveis, combinação de técnicas complementares para tratamento e a testagem de diferentes adsorventes originados da agroindústria.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, L. B. D. **Utilização do pó de serragem no tratamento de efluentes oriundos de campos de petróleo.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade federal rural do semi-árido. 2021.
- AL-FUTAISI, Ahmed; JAMRAH, Ahmad; AL-HANAI, Rashid. Aspects of cationic dye molecule adsorption to palygorskite. **Desalination**, v. 214, n. 1-3, p. 327-342, 2007.
- AL-GHOUTI, M. A., AL-KAABI, M. A., ASHFAQ, M. Y., & DA'NA, D. A. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 222-239, 2019.
- ALMEIDA, F. B. P. D. S. **Estudo do tratamento de água de produção de petróleo utilizando unidade de separação por biosorção.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. 2014.
- 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.
- ARAGÃO, Amanda Pereira. Estimativa da contribuição do setor petróleo ao Produto Interno Bruto brasileiro: 1955/2004. Rio de Janeiro, 2005.
- AZEVEDO, B. S. M.; RIZZO, A. C. L.; LEITE, S. G. F.; SOBRAL, L. G. S.; REICHWALD, D.; WALCHAN, G. M. 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: 10 ago. 2022.
- BORBA, L. L. S.; OLIVEIRA, M. F. D.; MELO, M. A. F.; MELO, D. M. A.; PERGHER, S. B. C. Preparação de adsorventes à base de materiais naturais hidrofobizados com cera de carnaúba. **PERSPECTIVA, Erechim**. v.37, n.139, p. 37-46, 2013.
- BORGES, B. B. G. **Tratamento da água produzida do petróleo para injeção em mananciais.** Natal, 2017.
- BORGES, T. S.; MORAIS, A. C.; MATTEDI, S. Cinética de sorção de petróleo por fibra de bananeira para casos de derramamento em meio aquático. Campina Grande: **Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2015.
- 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.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 393 de 8 de agosto 2007: Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2007.
- BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de

lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, 2011.

CABRAL, R. C; SANTOS, D. F. Estudo das principais técnicas para o tratamento de água produzida de petróleo. Uma análise das principais metodologias utilizadas em campo. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 5, n. 2, p. 175, 2019.

CARDOSO, Sheila Pressentin et al. Avaliação de indicadores de uso diverso como inibidores de corrosão. **Química nova**, v. 28, p. 756-760, 2005.

CARVALHO, P. C. D. A. P. D. **Tratamento combinado da água produzida de petróleo: filtração, adsorção e foto-Fenton**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

COUTINHO, N. A. F. S. **Otimização do Processo de Flotação do Minério Fosfático Sílicocarbonatado de Araxá-MG**. Minas Gerais, 2016.

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, 2018.

CUEVAS, L. A. **Adsorção de corantes em turfa de origem Magalhânica**. 2011. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

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.

DO, Duong D. Adsorption analysis: Equilibria and kinetics (with cd containing computer MATLAB programs). **World Scientific**, 1998.

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.

DOMINGUES, L. F.; *et al.* Produção de carvão a partir da casca de laranja ativado com cloreto de cálcio (CaCl₂) e sua aplicação em tratamento de água contaminada com nitrato (NO₃⁻). **Brazilian Journal of Development**, 2021.

EBRAHIMI, M. *et al.* Evaluation of the fouling potential of ceramic membrane configurations designed for the treatment of oilfield produced water. **Separation Science and Technology**, v. 53, n. 2, p. 349-363, 2018.

EPE.GOV.BR. **Balanco Energético Nacional 2022**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 26 out. 2022.

ESPASANDIM, João Victor Fernandes *et al.* FATORES QUE INFLUENCIAM A CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE COBRE (II) NO PÓ DA CASCA DE COCO VERDE. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 11, 2019.

FAKHRU'L-RAZI, Ahmadun *et al.* Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of hazardous materials**, v. 170, n. 2-3, p. 530-551, 2009.

FEITOZA, E. D. A. **Estudo da utilização da biomassa casca de palma forrageira seca em estufa para a remoção de gasolina contida em águas de descarte, utilizando o processo de adsorção.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande. 2018.

FERNANDES, Kendra AN; SANTOS, FA dos; BRUN, G. W. Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água. **Revista da graduação**, v. 3, n. 2, 2010.

FERREIRA, B. H. **Estudo dos processos de tratamento de água produzida de petróleo.** UFRN, 2016.

GENTIL. **Corrosão.** 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Afiliada, 1996. LTC.

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.

GUIMARÃES., M.; *et al.* High moisture strength of cassava starch/polyvinyl alcohol-compatible blends for the packaging and agricultural sectors. **Journal of Polymer Research**, 2015.

HEGAZI, H.A. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. **Hbrc Journal**, 2013.

HOSNY, R. *et al.* Tratamento da água oleosa produzida (OPW) usando misturas de coagulantes. **Jornal Egípcio de Petróleo**, v. 25, n. 3, p. 391-396, 2016.

IGUNNU, Ebenezer T.; CHEN, George Z. Produced water treatment technologies. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 9, n. 3, p. 157-177, 2014.

JAFELICE, D. A. **Caracterização de compósitos de polipropileno reciclado e fibra de coco.** São Paulo, 2013.

JIMÉNEZ, S. *et al.* State of the art of produced water treatment. **Chemosphere**, v. 192, p. 186-208, 2018.

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.

LIMA, V. A. B. Estudo do tratamento de água produzida visando a irrigação de plantas oleaginosas para uso na produção de biodiesel. Natal, 2017.

LIMEIRA, Vanessa; LEITE, Miquéias Mateus Ferreira. APLICAÇÃO DO PÓ DA CASCA DE COCO VERDE NA REMOÇÃO DE CONTAMINANTES DA ÁGUA PRODUZIDA: UM ESTUDO DE CASO. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 7, n. 1, p. 169-169, 2021.

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.

MAK, Sou-Yee; CHEN, Dong-Hwang. Fast adsorption of methylene blue on polyacrylic acid-bound iron oxide magnetic nanoparticles. **Dyes and pigments**, v. 61, n. 1, p. 93-98, 2004.

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.

MENEZES, C. T., BARROS, E. C., RUFINO, R. D., LUNA, J. M., & SARUBBO, L. A. Replacing synthetic with microbial surfactants as collectors in the treatment of aqueous effluent produced by acid mine drainage, using the dissolved air flotation technique. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 163, n. 4, p. 540-546, 2011.

MEURER, M. C.; VARGAS, F. Uso de erva-mate como biossorbente de contaminantes no tratamento da água. **Revista Tecnologia e Tendências**, 2019.

MIORANZA, D. T. **Remoção de gasolina sintética de corpos hídricos utilizando carvão ativado como adsorbente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

MORAES, José Ermírio F. *et al.* Treatment of saline wastewater contaminated with hydrocarbons by the photo-Fenton process. **Environmental science & technology**, v. 38, n. 4, p. 1183-1187, 2004.

MORAIS, José. Petrobrás: uma história das explorações de petróleo em águas profundas e no pré-sal. **Elsevier Brasil**, 2014

MOTTA, A. R. P. D., BORGES, C. P., KIPERSTOK, A., ESQUERRE, K. P., ARAUJO, P. M., & BRANCO, L. D. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2013.

MUNIZ, I.; BRAGA, R. O Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados e suas Embalagens: Estudo de Caso de uma Empresa de Logística na Região Norte do Brasil. **Sistemas & Gestão**, 2015.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2014.

NONATO, T. C. M. *et al.* Produced water from oil-A review of the main treatment technologies. **J. Environ. Toxicol**, v. 2, p. 23-27, 2018.

NUNES, J. M. **Tratamento de água de produção de petróleo visando o aproveitamento na obtenção de baunilhas**. UFNR, 2015.

OLIVEIRA, Gregory Vinicius Bezerra de. **Tratamento de água produzida com novos sistemas microemulsionado: avaliação da qualidade e aplicação na germinação de sementes de girassol**. Dissertação de Mestrado. 2019.

OLIVEIRA, J. D.J **Desenvolvimento de bioadsorventes a partir da casca da munguba para adsorção de metais**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2020.

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

PEREIRA, K. R. A. Cinética de adsorção dos íons de Cu^{2+} na cinza da casca de arroz para tratamento de efluente da indústria de petróleo. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, 2019.

PORTO, D. C. **Investigação da contaminação do solo e das águas subterrâneas por óleo**

- combustível: estudo de caso em Ribeirão Preto (SP): Empresa Viação Garcia.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- RIBEIRO, Laís Sibaldo. **Uso de água produzida na formulação de fluidos de perfuração.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2015.
- ROCHA, B. da S. **Avaliação de metodologia combinada com uso de tensoativos e polieletrólitos para tratamento de água produzida.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2018.
- 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.** John Wiley & Sons, 1984.
- SANTACESARIA, E. et al. Main technologies in biodiesel production: State of the art and future challenges. **Catalysis today**, v. 195, n. 1, p. 2-13, 2012.
- SANTANA, Claudia Ramos. **Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a Moringa Oleífera Lam como coagulante natural.** Dissertação de Mestrado. Brasil. 2009.
- SANTOS, João Pedro Gomes dos. **Estudo do potencial adsorvente da fibra de coco (Cocos nucifera L.) sobre os metais: chumbo, níquel e zinco.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. UFSCAR. 2022.
- SILVA, D. C.; *et al.* Removal of oil from produced water by ionic flocculation using saponified babassu coconut oil. **Journal Of Materials Research And Technology**, 2020.
- SILVA, G. S.; GUIA, J. S. A.; AMARAL, P. S. **Aplicação de biomassas no processo de adsorção no tratamento da água produzida de petróleo.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, 2019.
- SILVA, L. A. **Avaliação do adensamento de rejeitos finos de minério de ferro e sua associação com a mineralogia.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2014.
- SILVA, P. K. L. D. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008.
- SILVA, W. C.; *et al.* Continous enzymatic biodiesel production from coconut oil in two-stage packed-bed reactor incorporating na extracting column to remove glycerol formed as by-product. São Paulo: **Bioprocess Biosyst Eng**, 2016.
- STEWART, Maurice; ARNOLD, Ken. **Produced water treatment field manual.** Gulf Professional Publishing, 2011.
- SZKLO, A.; ULLER, V. C.; BONFÁ, M.H. P. Fundamentos de refino de petróleo: tecnologia e economia. Rio de Janeiro: **interciência** , v. 200, 2008.
- THOMAS, J. E., TRIGGIA, A. A., CORREIA, C. A., VEROTTO FILHO, C., XAVIER, J., & MACHADO, J. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. ed. **Interciência**: Petrobrás, Rio de Janeiro, Brasil. (2004).
- USGS. Mineral commodity summaries. U. S. **Geological Survey** (USGS), 2017.

VEIL, John A. *et al.* A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas, and coal bed methane. **Argonne National Lab., IL (US)**, 2004.

VEPSÄLÄINEN, Mikko; SILLANPÄÄ, Mika. Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. In: **Advanced water treatment**. Elsevier, 2020. p. 1-78.

WEBER, Walter J.; SMITH, Edward H. Simulation and design models for adsorption processes. **Environmental science & technology**, v. 21, n. 11, p. 1040-1050, 1987.

XAVIER, C. S. F. *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.

XU, P. **Upgrading magnetite ores by reverse flotation**. Perth: Curtin University Western Australian School of Mines, 2013.