



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS  
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOTECNOLOGIA E BIOPROCESSOS**

**ISADORA GUEDES FARIAS**

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ADSORTIVA DA VAGEM DE  
ALGAROBA (*Prosopis juliflora*) COM E SEM SEMENTE NA REMOÇÃO DE  
GASOLINA EM CORPOS D'ÁGUA, UTILIZANDO ADSORÇÃO EM LEITO  
DIFERENCIAL**

**SUMÉ - PB  
2022**

**ISADORA GUEDES FARIAS**

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ADSORTIVA DA VAGEM DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*) COM E SEM SEMENTE NA REMOÇÃO DE GASOLINA EM CORPOS D'ÁGUA, UTILIZANDO ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.**

**Orientadora: Professor Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.**

**SUMÉ - PB  
2022**



F224e Farias, Isadora Guedes.

Estudo comparativo da eficiência adsorptiva da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) com e sem sementes na remoção de gasolina em corpos d'água utilizando adsorção em leito diferencial. / Isadora Guedes Farias. - 2022.

46 f.

Orientadora: Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.

1. Adsorção em leito diferencial. 2. Algaroba - eficiência adsorptiva. 3. *Prosopis juliflora*. 4. Gasolina em corpos d'água - remoção. 5. Vagem de algaroba. 6. Contaminante orgânico. 7. Poluição das águas. 8. Hidrocarboneto. 9. Capacidade adsorptiva - vagem de algaroba. I. Lima, Lenilde Mérgia Ribeiro. II. Título.

CDU: 66.081.312 (043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**ISADORA GUEDES FARIAS**

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ADSORTIVA DA VAGEM DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora*) COM E SEM SEMENTE NA REMOÇÃO DE GASOLINA EM CORPOS D'ÁGUA, UTILIZANDO ADSORÇÃO EM LEITO DIFERENCIAL**

**Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos.**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Professora Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.**  
**Orientadora - UAEB/CDSA/UFCG**

---

**Professor Dr. George do Nascimento Ribeiro.**  
**Examinador Interno - UAEB/CDSA/UFCG**

---

**Professor Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes.**  
**Examinador Interno - UAEB/CDSA/UFCG**

---

**Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima.**  
**Examinadora Externa - DESA/CCT/UEPB**

**Trabalho aprovado em: 22 de fevereiro de 2022.**

**SUMÉ - PB**

*À minha mãe, por sempre ter  
acreditado e ter investido em  
mim. Sou grata pela dedicação e  
por tudo que és. Te dedico essa  
conquista.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por sempre guiar meu caminho.

À minha mãe Ana Lúcia, por todo apoio, investimento e incentivo em mim, nos meus estudos, e por sempre ter dado seu melhor por mim. Ao meu pai Kleber (*in memorian*), pelo seu carinho e dedicação que foram dados durante sua vida. Amo vocês.

Aos meus irmãos Ighor e Thiago, obrigada pelo companheirismo. Aos meus familiares, em especial meu tio Diego Farias, minha tia Luciana, minha avó Eunice (*in memorian*) e minha tia Luzia (*in memorian*), obrigada por sempre terem acreditado em mim e por sempre se fazerem presentes de alguma forma.

À minha orientadora, Profa. Dra. Lenilde Mérgia Ribeiro Lima, agradeço pela oportunidade, pela confiança, pelos conhecimentos passados e pela companhia durante os projetos do PIBIC e no Trabalho de Conclusão de Curso. Obrigada pela paciência e por tudo. Possuo grande admiração por sua pessoa e pela profissional que és.

Grato aos queridos professores da UAEB; em especial, Bruno Rafael, Jean César, Franklin Nóbrega, Glauciane Coelho, Aldre Jorge, Ana Verônica e Mérgia Ribeiro. Agradeço muito a professores de outras unidades do CDSA, como Aldinete Barreto, Fabiana Pimentel, Morgana Fabíola e Ilza Maria. Um agradecimento especial a Tatiane Simões, que já não faz mais parte do CDSA, mas enquanto esteve foi uma professora sensacional para todos, não sendo somente professora, mas também uma amiga de todos, obrigada por ser uma professora que inspira.

Aos meus amigos, em especial a Júlio Gabriel e José Cordeiro, os quais com certeza irei levar para a vida. Aos meus amigos de produção Ariadne, Hellen, Adilson, Corina, Higor, Keren, Marcelo, Mariana e Denny. Vocês fizeram toda a diferença na minha graduação, obrigada por me acolherem e por estarem comigo durante esse processo. Agradeço aos meus colegas de turma Edson, Marília, Marina, Ádella Beatriz e Yalle.

Às minhas amigas de colégio Brenda, Hadassa e Érika. Vocês são incríveis e são amigades de vida, obrigada por tudo. Às minhas amigas que a biologia me deu, Rosália, Ellen e Karol. Obrigada pelo companheirismo, pelo apoio e pela amizade de vocês. À minha amiga Renata, pela sua amizade. À Andreza por todas as vezes que me apoiou e me auxiliou. À Letícia Gomes, por sua amizade, seu companheirismo, por sempre estar comigo nas horas boas e ruins, obrigada por tudo.

Aos companheiros de laboratório Rainy, Ana Maria, Mariana e André. Aos companheiros de estágio Isac e Antenor. Ao técnico do laboratório de Microbiologia, Cícero, por todo apoio em todos experimentos. Ao técnico de laboratório de Solos, Danilson, pelo auxílio durante os projetos de PIBIC e Trabalho de conclusão de curso.

À professora Dra. Adriana de Fátima Meira Vital, coordenadora do LASOL (Laboratório de Solos) do CDSA, pela disponibilização do espaço para a realização dos experimentos.

À banca examinadora, aos professores Dr. Bruno Rafael Pereira Nunes e Dr. George do Nascimento Ribeiro, pela disponibilidade de dividirem comigo seus conhecimentos neste momento tão importante.

A todos que acreditaram no meu potencial e contribuíram de alguma forma para esta realização.

FARIAS, I. G. **Estudo comparativo da eficiência adsortiva da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) com e sem semente na remoção de gasolina em corpos d'água, utilizando adsorção em leito diferencial**, Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos), Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, 2022.

## RESUMO

Uma grande preocupação da atualidade tem sido a contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos orgânicos tóxicos. Contaminantes tais como gasolina, diesel e outros produtos químicos, podem ser potenciais poluentes para o meio ambiente, podendo afetar ecossistemas, qualidade da água e a saúde pública. Como alternativa para a problemática, a adsorção é um método de separação e purificação, que possui diversas aplicações, dentre estas no tratamento de efluentes. A utilização de biomassas neste processo tem se tornado comum, por ser uma alternativa de fácil obtenção, baixo custo e alta eficiência no tratamento. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar e comparar a eficiência adsortiva da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) com e sem semente, quando empregada na remoção de gasolina presente em corpos d'água, utilizando o sistema de adsorção em leito diferencial. A metodologia utilizada foi proposta por Lima *et al.* (2014). Inicialmente, houve preparação da biomassa na forma particulada utilizando peneiras Série Tyler. Posteriormente, foram realizados os experimentos para o estudo da cinética de adsorção, em que foram avaliados os tempos de 05 a 60 minutos (com intervalos de 5 minutos) e o equilíbrio de adsorção, cujas concentrações de contaminantes variaram de 5 a 60% (com taxa de variação de 5%). Para o sistema de leito diferencial utilizaram-se concentrações de 5%, 7,5% e 10% de poluente. Os resultados confirmaram que a cinética de adsorção da gasolina foi rápida para a concentração de 5%, na qual ocorreu a remoção total do contaminante aos 25 minutos de contato da biomassa com o contaminante. Para a concentração de 7,5%, houve um volume residual de 3,5 mL aos 40 minutos de contato da biomassa e, para a concentração de 10%, não houve volume residual aos 45 minutos de contato. As isotermas de equilíbrio apresentaram valores de capacidade máxima de adsorção de 8,67 g.g<sup>-1</sup> e 14,81 g.g<sup>-1</sup> para a biomassa com semente e sem semente, respectivamente. No sistema de leito diferencial para a biomassa com semente, nas concentrações de 5% e 10% ocorreu a remoção total do contaminante. Para a concentração de 7,5% houve um volume residual de 3,5 mL aos 40 minutos de contato da biomassa. No sistema de leito diferencial para a biomassa sem semente, para as concentrações de 5, 7,5 e 10%, ocorreu a remoção total dos contaminantes. Sendo assim, pode-se afirmar que a vagem de algaroba sem semente mostrou ser mais eficiente do que a vagem de algaroba com semente na remoção de gasolina presente em água.

**Palavras-chave:** capacidade adsortiva; contaminante orgânico; vagem de algaroba.



FARIAS, I. G **Comparative study of adsorptive efficiency of mesquite pods (*Prosopis juliflora*) with and without seed in removal of gasoline in water bodies, using differential bed adsorption**, Course Conclusion Work (Biotechnology and Bioprocess Engineering), Federal University of Campina Grande, Sumé-PB, 2022.

## ABSTRACT

A major concern today has been contamination of soils and groundwater by toxic organic compounds. Contaminants such as gasoline, diesel and other chemicals can be potential pollutants for environment, which can affect ecosystems, water quality and public health. As an alternative to the problem, adsorption is a method of separation and purification, which has several applications, among them in treatment of effluents. Use of biomass in this process has become common, as it is an alternative that is easy to obtain, low cost and high efficiency in treatment. Therefore, objective of this work was to analyze and compare adsorptive efficiency of mesquite pods (*Prosopis juliflora*) with and without seed, when used in removal of gasoline present in water bodies, using differential bed adsorption system. Methodology used was proposed by Lima *et al.* (2014). Initially, biomass was prepared in particulate form using Tyler Series sieves. Subsequently, experiments were carried out to study adsorption kinetics, in which times from 5 to 60 minutes (with intervals of 5 minutes) and adsorption equilibrium were evaluated, whose concentrations of contaminants varied from 5 to 60% (with rate of 5%). To differential bed system, concentrations of 5%, 7.5% and 10% of pollutant were used. Results confirmed that gasoline adsorption kinetics was fast for 5% concentration, in which total removal of contaminant occurred after 25 minutes of contact between biomass and contaminant. In 5% concentration, there was a residual volume of 3.5 mL at 40 minutes of contact with biomass and, for 10% concentration, there was no residual volume at 45 minutes of contact. Equilibrium isotherms showed maximum adsorption capacity values of 8.67 g.g<sup>-1</sup> and 14.81 g.g<sup>-1</sup> for seed and seedless biomass, respectively. In differential bed system for biomass with seed, at concentrations of 5% and 10%, total removal of contaminant occurred. In concentration of 7.5%, there was a residual volume of 3.5 mL after 40 minutes of contact with biomass. In differential bed system for seedless biomass, in concentrations of 5, 7.5 and 10%, there was a total removal of contaminants. Therefore, it can be said that mesquite pod without seed proved to be more efficient than mesquite pod with seed in removal of gasoline present in water.

**Keywords:** adsorptive capacity; organic contaminant; algaroba pod.

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Curva cinética para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa com semente.....	<b>34</b>
<b>Gráfico 2</b> - Curva cinética para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa sem semente.....	<b>35</b>
<b>Gráfico 3</b> - Curva de equilíbrio para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa com semente.....	<b>36</b>
<b>Gráfico 4</b> - Curva de equilíbrio para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa sem semente.....	<b>37</b>
<b>Gráfico 5</b> - Curva da cinética de adsorção para o sistema água/gasolina/biomassa com semente, em leito diferencial, para as concentrações de contaminante de 5%, 7,5% e 10%.....	<b>38</b>
<b>Gráfico 6</b> - Curva da cinética de adsorção para o sistema água/gasolina/biomassa sem semente, em leito diferencial, para as concentrações de contaminante de 5%, 7,5% e 10%.....	<b>39</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>BTX</b>	Benzeno, tolueno e xileno
<b>BTEX</b>	Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno
<b>COV</b>	Compostos orgânicos voláteis
<b>mg</b>	Miligrama
<b>kg</b>	Quilograma
<b>g</b>	Gramma
<b>L</b>	Litro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>cm</b>	Centímetro
<b>mL</b>	Mililitro
<b>PB</b>	Paraíba
<b>rpm</b>	Rotação por minuto
<b>UFCG</b>	Universidade Federal de Campina Grande
<b>q<sub>e</sub></b>	Capacidade adsortiva do adsorvente
<b>C<sub>o</sub></b>	Concentrações iniciais
<b>V</b>	Volume
<b>°C</b>	Graus Celsius
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>µg.L<sup>-1</sup></b>	Microgramas por litro
<b>n<sup>o</sup></b>	Número
<b>%</b>	Porcentagem
<b>UAEB</b>	Unidade Acadêmica de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos
<b>CDSA</b>	Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
3.1	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS.....	14
3.2	HIDROCARBONETOS.....	14
<b>3.2.1</b>	<b>Gasolina.....</b>	<b>15</b>
3.3	ADSORÇÃO.....	16
<b>3.3.1</b>	<b>Cinética de adsorção.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Equilíbrio de adsorção.....</b>	<b>17</b>
3.3.2.1	<i>Modelo de Freundlich.....</i>	<i>19</i>
<b>3.2.3</b>	<b>Leito diferencial.....</b>	<b>19</b>
3.4	SEMIÁRIDO NORDESTINO.....	20
3.5	ALGAROBA.....	21
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
4.1	MATERIAIS.....	22
4.2	METODOLOGIA.....	22
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterização físico-química da biomassa.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	33
5.2	CINÉTICA DE ADSORÇÃO.....	33
5.3	EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO.....	35
5.4	LEITO DIFERENCIAL.....	37
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma preocupação da atualidade é a contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos orgânicos tóxicos, o que tem sido um dos maiores problemas ambientais. O vazamento de contaminantes tais como gasolina, diesel e outros produtos químicos é uma das fontes desta contaminação (VIEIRA; COSTA; NAVES, 2017).

Acidentes como estes geram grandes consequências, tais como a contaminação do solo e também de lençóis freáticos, o que inviabiliza o local e o uso da água. Além disso, pode provocar a intoxicação dos seres vivos próximos à localidade. Contaminação por Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs), são preocupantes devido aos potenciais cancerígenos e mutagênicos; portanto, se faz necessária a aplicação de técnicas de remediação para a solução deste problema (CARDOSO, 2018).

A gasolina tem em sua constituição vários hidrocarbonetos, dentre estes os compostos aromáticos, que constituem a fração mais tóxica e possuem como característica a elevada solubilidade em água. Na gasolina do Brasil, existe a adição de 27% de etanol, provocando um aumento da solubilidade dos compostos como os BTX (benzeno, tolueno e xileno), assim, a presença de etanol pode viabilizar um maior espalhamento do contaminante, promovendo, desta forma, uma maior área de contaminação e, conseqüentemente, um maior prejuízo em relação à poluição ambiental (SOUZA *et al.*, 2019).

Como alternativa para a problemática, a adsorção é um método de separação e purificação que possui grande aplicação no tratamento de efluentes. O processo tem como objetivo a separação de uma substância de interesse em uma fase, que está acompanhada de outra substância em outra superfície. A utilização de biomassas no processo tem se tornado mais comum por ser uma alternativa de fácil obtenção, baixo custo e alta eficiência no tratamento de descontaminação (CAVALCANTE, 2018).

O sistema em leito diferencial é uma técnica que se baseia na remoção de contaminantes de efluentes, por meio de uma camada fina de bioadsorventes em contato com o efluente. É uma técnica utilizada para ampliação de escala do processo e também para viabilizar o estudo da biomassa na adsorção (AMORIM, 2016).

Dentre as biomassas mais utilizadas, tem sido estudadas algumas espécies vegetais características do da região do Nordeste do Brasil. A caatinga é um bioma exclusivo brasileiro, e possui sua localização principalmente no Nordeste, tendo clima dominante do semiárido, e que ocupa cerca de 10% do território nacional (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015). O semiárido

paraibano apresenta uma vegetação que possui como características boa adaptabilidade e resistência a longos períodos de estiagem, devido à pouca distribuição hídrica da região (SILVA, 2019). A algaroba (*Prosopis juliflora*), é uma espécie originária do Peru, tendo se adaptado ao Nordeste brasileiro, por possuir resistência à estiagem e boa adaptação às condições adversas. Esta possui diversas aplicações, como para fins madeireiros, como forrageira, além de poder ser aplicada na indústria na produção de álcool e bebidas (CAVALCANTE *et al.*, 2020).

Considerando a grande quantidade de algaroba na região do cariri paraibano e a importância que representa para a região, como também a necessidade de se preservar os recursos hídricos, é de relevância o estudo da eficiência adsortiva da biomassa vagem de algaroba.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência do processo de adsorção em leito diferencial, utilizando como biomassa a vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*), com e sem semente, como adsorvente para remoção de contaminante hidrogenocarbonado (gasolina) presente em corpos d'água.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização físico-química da biomassa vagem de algaroba com e sem semente.
- Obter as curvas cinéticas para a caracterização da dinâmica de adsorção da gasolina em contato com as vagens.
- Estudar o poder adsortivo das vagens de algaroba quando colocadas em contato com a gasolina, por meio das isotermas obtidas pela análise de equilíbrio.
- Submeter a mistura gasolina/água, juntamente com as biomassas vagens de algaroba, ao processo de adsorção em leito diferencial.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A poluição das águas é uma problemática dos dias atuais, visto que é uma ameaça para a saúde pública. O descarte de poluentes no meio ambiente afeta os organismos presentes e dependentes do meio (OSORIO, 2018). Vazamentos em postos de combustíveis são uma das principais causas de poluição do solo e de lençóis freáticos, podendo afetar de forma prejudicial as reservas de água e a vida como um todo. Em águas subterrâneas, o efeito de uma contaminação tende a permanecer por mais tempo, por não possuir condições que favoreçam a degradação ou a evaporação do poluente (SILVA, 2017).

O derramamento de derivados de petróleo no meio ambiente por postos de combustíveis pode gerar grandes problemas, pois pode inviabilizar o consumo de milhões de metros cúbicos de água subterrânea. Ao atingir o solo, os combustíveis podem se dispersar de várias maneiras e atingir o aquífero livre formando uma camada de produto sobrenadante, gerando uma fonte de contaminação de longo prazo (CARNEIRO *et al.*, 2020)

A contaminação de águas subterrâneas geralmente ocorre devido aos hidrocarbonetos monoaromáticos presentes na gasolina, os quais são compostos poucos solúveis na água e que, ao entrar em contato com o solo, atingem facilmente os lençóis freáticos. Estes compostos podem causar problemas à saúde humana, além da contaminação do meio ambiente, afetando a fauna e a flora, provocando, desta forma, um desastre ambiental (BENETTI, 2017).

Existe uma preocupação a respeito do assunto, devido à alta toxicidade dos hidrocarbonetos aromáticos, que apresentam toxicidade crônica e podem até ser carcinogênicos, podendo causar problemas irreparáveis (SILVA, 2017).

#### 3.2 HIDROCARBONETOS

Os hidrocarbonetos são constituídos de carbono e hidrogênio, e podem possuir diferentes configurações. Estes podem ser alifáticos (alcanos, alquinos, cicloalcanos e alquenos) e aromáticos (monoaromáticos e policíclicos). Os hidrocarbonetos saturados possuem ligações simples, os aromáticos são compostos por anéis aromáticos e alguns são formados por outros elementos além do carbono e do hidrogênio (FEITOZA, 2018).



Os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) são resultantes da fração monoaromática do petróleo e geralmente se encontram presentes na gasolina. Estes possuem uma baixa polaridade, sendo insolúveis em água e solúveis em solventes apolares, e também são compostos voláteis. Os BTEX fazem parte das matérias-primas de indústrias de solventes, pesticidas e plásticos e são potenciais poluentes do meio ambiente (FIGUEIREDO, 2018).

A gasolina é normalmente transportada em caminhões-tanques, e é armazenada em tanques de aço carbono, que ficam abaixo do solo. Quando ocorrem problemas de vazamento ou infiltração nos tanques, pode provocar a contaminação dos lençóis freáticos. Além disso, a evaporação também pode causar a contaminação do ar por BTEX, que podem retornar às fontes de água por meio da chuva (OSORIO, 2019).

### **3.2.1 Gasolina**

A gasolina é composta por hidrocarbonetos entre 4 a 12 átomos de carbono e pode possuir também baixas concentrações de contaminantes naturais, tais como enxofre, oxigênio, metais e nitrogênio. É uma mistura que contém diversos elementos químicos e pode apresentar diferentes composições, dependendo das condições de refino e do petróleo de origem (SANTOS, 2018).

É um combustível derivado do petróleo, volátil e inflamável, sendo um dos combustíveis mais produzidos e usados no mundo. Em sua complexa mistura, estão presentes os BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), que podem estar presentes em 18% da gasolina padrão. Dentre os compostos da gasolina, os BTEX são os mais difíceis de serem degradados e, devido à sua solubilidade em água, possuem uma maior mobilidade em meios porosos e elevada toxicidade (MARTINS, 2015).

As propriedades físico-químicas dos compostos da gasolina, tais como solubilidade, pressão de vapor, densidade, viscosidade, peso molecular, polaridade e coeficiente de partição interferem na mobilidade desta na água. Os BTEX, além de serem solúveis em água, são tóxicos, podendo agir como depressores do sistema nervoso central (BRITO, 2017).

A gasolina do Brasil possui em sua composição o etanol, o que provoca alterações físicas e químicas no combustível, sendo capaz de alterar um cenário de contaminação no caso de um acidente, podendo levar a uma maior dispersão das plumas de contaminação, além de aumentar a solubilidade de compostos como BTEX em água (ANDRADE, 2016).

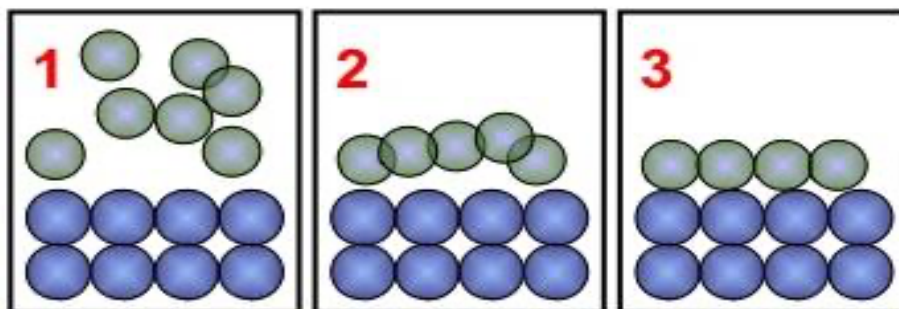
Com o intuito de remover os contaminantes orgânicos da água, têm-se realizados estudos utilizando a técnica de adsorção.

### 3.3 ADSORÇÃO

A adsorção é o processo de adesão de moléculas de um fluido (adsorbato) a uma superfície sólida (adsorvente). O grau de adsorção depende de algumas variáveis como temperatura, pressão, pH e superfície do sólido. A técnica pode ser classificada em dois processos, dependendo do tipo de forças que irão atrair essas moléculas: adsorção química (quimissorção) e adsorção física (fisissorção). É um processo que possui elevada seletividade molecular, que permite a separação de diversos componentes de baixo consumo energético (LIMA, 2016).

Na adsorção física, as interações que ocorrem são ditas fracas, podem ser reversíveis, ocorrem em toda a superfície adsorvente, podendo ser não localizadas, e também há a possibilidade de formar multicamadas nas paredes do sólido. Na adsorção química, as interações são fortes, envolvem troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorbato, gerando uma reação química e não são facilmente reversíveis. Neste processo, é importante a escolha do adsorvente para ser utilizado e existem diversos fatores que podem ser levados em consideração, tais como área superficial, tamanho do poro, densidade, hidrofobicidade. Além destas características, o adsorvente não deve ser tóxico, além de ser rentável, facilmente disponível e regenerável. Uma boa alternativa é o uso de biomassas para a purificação de água e de águas residuárias (ALMEIDA; SANTOS, 2020; SANTOS, 2020). Na Figura 1 é possível observar como ocorre o processo de adsorção.

**Figura 1** - Processo de adsorção: (1) Difusão para a superfície do adsorvente; (2) Migração para o interior dos poros do adsorvente; (3) Formação da monocamada de adsorbato.



Existem várias aplicações do método de adsorção como, por exemplo, remoção de pesticidas, remoção de substâncias orgânicas dissolvidas no abastecimento de água, remoção de odores, recuperação e concentração de proteínas, produtos farmacêuticos e bio-compostos de suspensão diluídas e remoção de agentes tóxicos (SBIZZARO, 2020). O processo também pode ser aplicado para o tratamento de efluentes, pois é uma alternativa simples, eficiente, de baixo custo e com diversas aplicabilidades (MACIEL, 2020).

### 3.3.1 Cinética de adsorção

A cinética de adsorção é um estudo capaz de viabilizar informações a respeito do processo que está ocorrendo, podendo expressar a taxa de remoção do adsorbato na fase fluida em relação ao tempo. A velocidade deste processo pode sofrer interferências de fatores como: temperatura, pH, força iônica, concentração inicial do adsorbato, agitação, tamanho das partículas e distribuição do tamanho dos poros (SOUSA, 2019).

O estudo cinético é baseado na adição de uma quantidade de adsorvente em um volume de solução com uma concentração inicial previamente determinada, que ficará em agitação durante um tempo  $t$  de contato. Após atingir o tempo, é possível determinar as concentrações finais de adsorbato e sua massa retida por unidade de massa de adsorvente (SANTOS, 2020). O processo é definido pela equação 1.

$$q = \frac{(C_0 - C)V}{m} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

$q$ : Quantidade adsorvida na fase sólida no tempo  $t$  (mg. g<sup>-1</sup>)

$C_0$ : Concentração inicial de adsorbato (mg. L<sup>-1</sup>)

$C$ : Concentração de adsorbato no tempo  $t$  (mg. L<sup>-1</sup>)

$m$ : Massa de material adsorvente (g)

$V$ : Volume da solução (L)

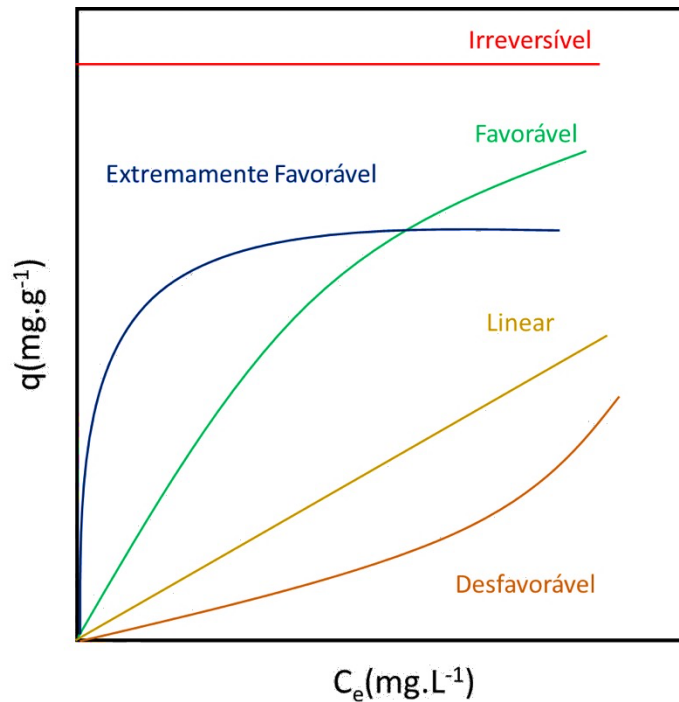
### 3.3.2 Equilíbrio de adsorção

O equilíbrio é uma condição necessária para a obtenção de informações a respeito do processo de adsorção. O equilíbrio ocorre quando a concentração do contaminante se torna constante na fase líquida após o contato com o adsorvente. A partir de então, pode-se dizer que

o sistema atingiu o estado de equilíbrio, e assim é possível determinar a capacidade de adsorção do adsorvente ( $q_e$ ) (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Os dados de equilíbrio são obtidos por meio das isotermas de adsorção, que são empregadas para avaliar a capacidade adsorptiva de diferentes adsorventes para uma determinada substância. As isotermas em fase líquida são mostradas em curvas de concentração do soluto na fase sólida, em função da concentração do soluto na fase fluida, em determinada temperatura. Por meio das isotermas pode-se especificar o equilíbrio e seu tratamento teórico, pois estas estabelecem a primeira informação experimental para a escolha entre diferentes adsorventes, para determinada aplicação (SOUSA, 2019). Na Figura 2, é possível observar as diferentes formas em que as isotermas se apresentam.

**Figura 2** - Representação das diferentes formas das isotermas de Adsorção.



**Fonte:** Adaptado de SOUSA (2019).

Na isoterma linear, a massa do adsorbato retida por unidade de massa de adsorvente é proporcional à concentração de equilíbrio do adsorbato na fase líquida. Na favorável, a massa do adsorbato retida por unidade de massa do adsorvente é alta para uma baixa concentração de equilíbrio do adsorbato na fase líquida. Na irreversível, a massa de adsorbato retida por unidade de massa do adsorvente independe da concentração de equilíbrio do adsorbato na fase líquida. Na desfavorável, a massa de adsorbato retida por unidade de massa do adsorvente é

baixa, mesmo para uma concentração de equilíbrio do adsorbato na fase líquida (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

### 3.3.2.1 Modelo de Freundlich

O modelo de Freundlich foi desenvolvido de forma empírica, e admite a adsorção em multicamadas. Este foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração. A equação considera o sólido heterogêneo, e aplica uma distribuição exponencial para definir os vários tipos de sítios de adsorção, que possuem diferentes energias adsortivas (SOUSA, 2019). O modelo é descrito pela equação 2.

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

$q_e$ : quantidade de soluto adsorvido ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )

$C_e$ : concentração de equilíbrio na solução ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

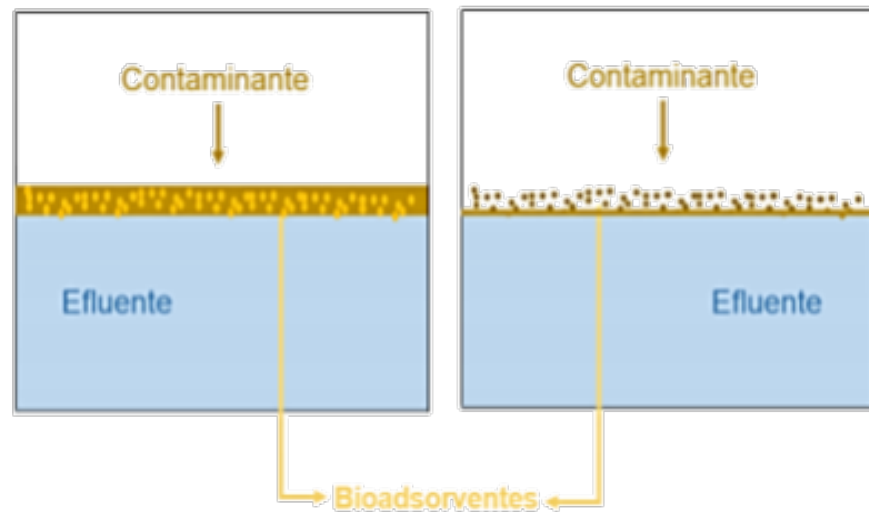
$1/n$ : constante relacionada à heterogeneidade da superfície

$K_f$ : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

### 3.2.3 Leito diferencial

A adsorção em leito diferencial refere-se ao estudo com um volume de controle, com o intuito de minimizar a complexidade da obtenção de dados da pesquisa e, a partir disto, simular o corpo d'água real contaminado, para que se possam utilizar os resultados para a ampliação de escala (LIMA *et al.*, 2020). A adsorção em leito fixo é um método simples e vantajoso, por possuir a capacidade de tratar grandes volumes de efluente ao pequeno espaço necessário (COSTA, 2020). Essa técnica é usada em processos de adsorção e pode ser empregada em parâmetros de escala laboratorial, como também em processos de separação em grande escala (MORAIS, 2005). Na Figura 3, é possível visualizar o processo de adsorção em leito diferencial.

**Figura 3** - Técnica de leito diferencial com bioadsorvente.



**Fonte:** SOUZA; LIMA; SILVA, 2011.

Inúmeros estudos têm sido desenvolvidos com a utilização de biomassas características do semiárido nordestino para adsorção de contaminantes orgânicos. A palma forrageira, estudada por Lima *et al.* (2016; 2019a e 2019b) tem se mostrado uma biomassa eficiente para remoção de gasolina em corpos d'água. Lima *et al.* (2019b) estudaram o poder adsorativo da palma forrageira (*Opuntia ficus*) sem casca na remoção de gasolina comum em corpos d'água e concluíram que a isoterma de Langmuir ajustou-se bem aos resultados obtidos em laboratório.

### 3.4 SEMIÁRIDO NORDESTINO

O semiárido nordestino é uma região que apresenta características específicas, tais como elevadas taxas de insolação, elevadas temperaturas e baixas amplitudes térmicas. Além disso, os totais pluviométricos são baixos, e possui elevadas taxas de evapotranspiração, o que acomete como consequência uma elevada deficiência hídrica (ZANELLA, 2014).

A Caatinga é um bioma brasileiro que abrange 55% da área do Nordeste, compreende uma variedade de climas, solos e formas de relevo e, assim, se manifestam distintas paisagens. Esse bioma possui um sistema de chuvas irregulares, resultando em periódicas estiagens. Desta forma, sua vegetação possui como característica em comum, a adaptabilidade aos períodos de estiagem (COELHO JUNIOR *et al.*, 2020). Uma das espécies que melhor se adaptou ao clima estéril da caatinga foi a algaroba.

### 3.5 ALGAROBA

A algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma árvore nativa do Peru, que foi introduzida no Nordeste brasileiro na década de 1940, implantada com o propósito de reflorestamento, por se adaptar bem ao clima do semiárido. Possui múltiplos usos, podendo ser empregada por interesses econômicos ou por fatores ecológicos. Pode também ser considerada como uma planta invasora, por sua presença no meio ambiente provocar uma diminuição das populações de espécies nativas (CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2019).

A algarobeira (*Prosopis juliflora*) é um dos maiores sucessos de adaptação entre as espécies introduzidas nas regiões semiáridas (CAVALCANTE *et al.*, 2020). Podem ser encontradas em solos extremamente pobres, algumas vezes rochosos, sendo que algumas espécies são muito tolerantes à salinidade e apresentam sobrevivência surpreendente (BRAGA *et al.*, 2009).

Esta planta possui capacidade de restabelecer a fertilidade e a produtividade de solos sódicos degradados, sendo utilizada para a recuperação de solos alcalinos improdutivos. Pode ser um bioindicador da poluição do solo e remediador de metais pesados, contribuindo para a recuperação de áreas contaminadas (DUTRA, 2019). A Fotografia 1 ilustra a planta de algaroba.

**Fotografia 1** - Algarobeira (*Prosopis juliflora*).



Fonte: [www.alingua.com.br](http://www.alingua.com.br), 2018.

## 4 MATERIAIS E METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAIS

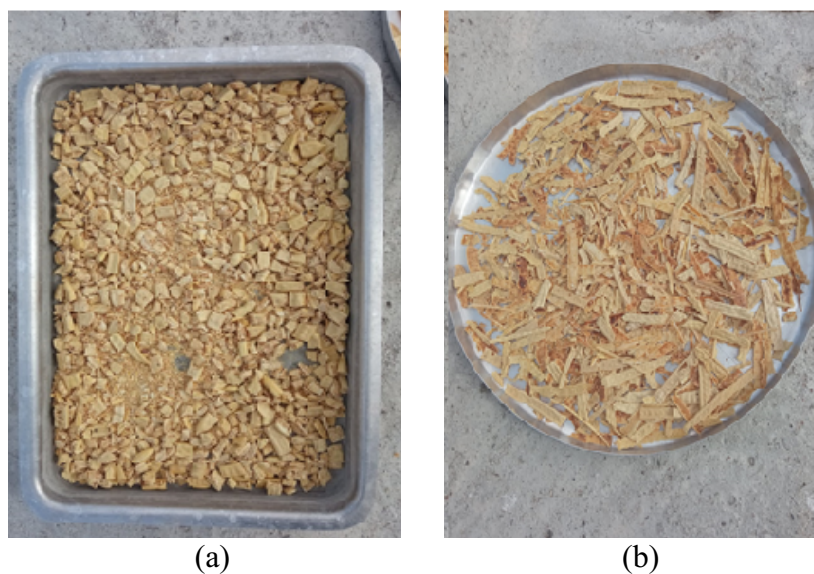
O contaminante orgânico utilizado foi a gasolina, adquirida em postos de gasolina do município de Sumé-PB. Foi preparada uma dispersão gasolina/água, para simular o efluente contaminado. Como adsorvente foi utilizada a vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) na forma particulada.

### 4.2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada seguiu o procedimento realizado por LIMA *et al.* (2014), que utilizou o mandacaru (*Cereus jamacaru*) na forma particulada para remoção da mistura gasolina/óleo diesel utilizando o processo de adsorção.

As amostras da biomassa vagem de algaroba foram coletadas na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Câmpus Sumé. As biomassas foram colocadas para secar ao sol (Fotografia 2), em seguida ocorreu a preparação destas, deixando-as na forma particulada utilizando o moinho de facas, obtendo granulometria final do material de 1 a 2 mm (Fotografia 3).

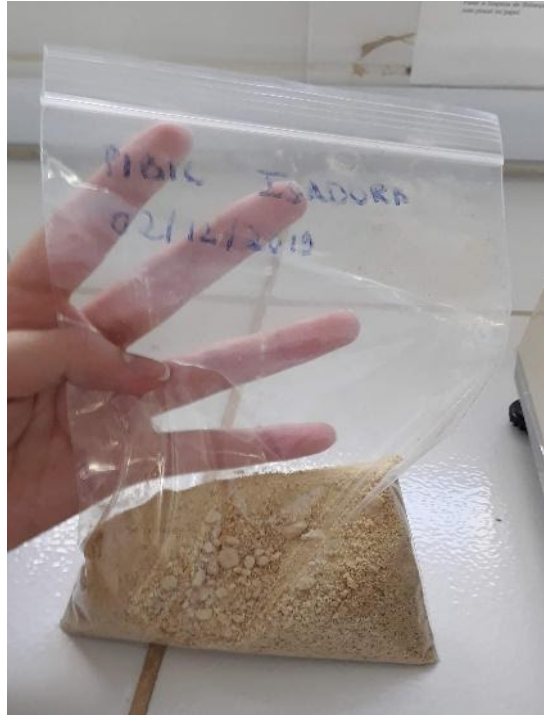
**Fotografia 2** - Vagens de algaroba expostas ao sol para secagem: (a) vagem com semente; (b) vagem sem semente.



**Fonte:** Acervo da autora, 2022.



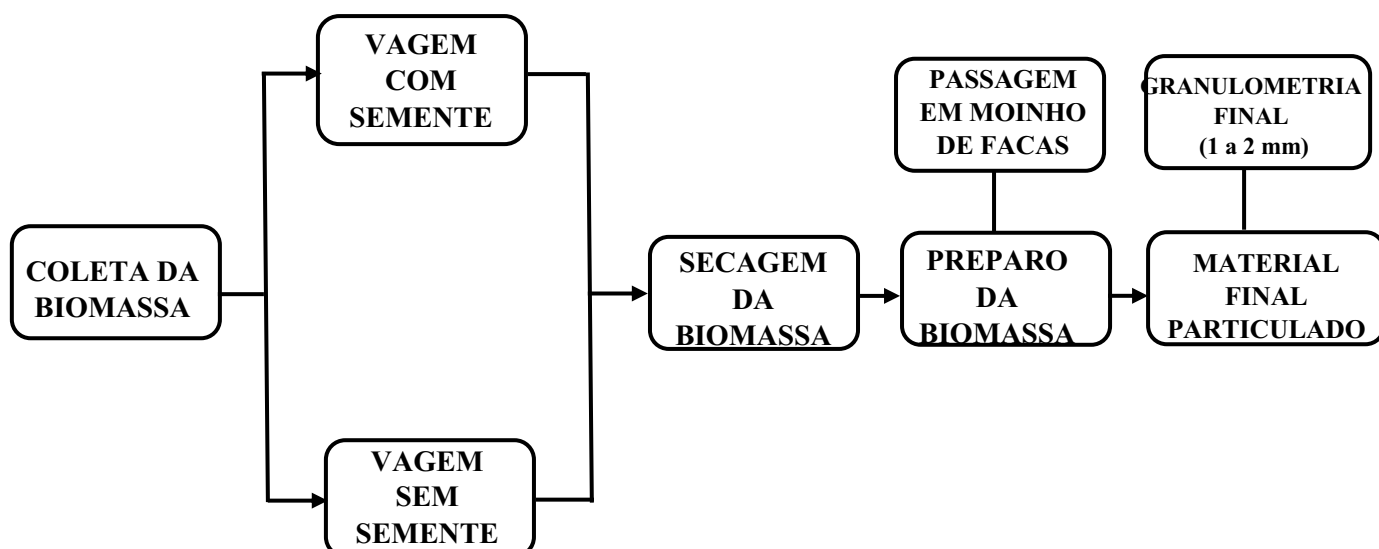
**Fotografia 3** - Amostra da vagem da algaroba particulada.



Fonte: Acervo da autora, 2022.

No Fluxograma 1, tem-se a metodologia do preparo das biomassas.

**Fluxograma 1** - Referente ao preparo das biomassas.



Fonte: Acervo da autora, 2022.

Foi realizado o estudo da cinética de adsorção, utilizando 12 frascos *erlenmeyers* com capacidade para 100 mL. Em cada frasco *erlenmeyer* foram adicionados 52 mL da mistura

água/gasolina (12 mL do contaminante e 40 mL de água) (Fotografia 4), sendo acrescentados 1,2 g da biomassa de algaroba particulada, peneirada e seca.

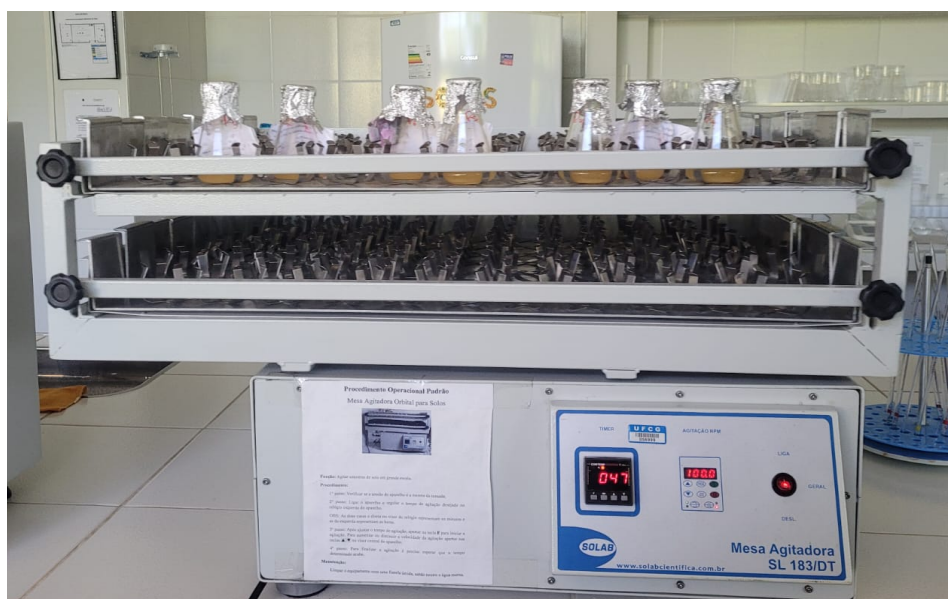
**Fotografia 4** - Amostras nos *erlenmeyers* contendo a mistura água/gasolina.



**Fonte:** Acervo da autora, 2022.

Os frascos *erlenmeyers* com a mistura foram submetidos a uma mesa agitadora com rotação de 130 rpm (Fotografia 5), em intervalos de 5 minutos, tendo uma variação de tempo de 05 a 60 minutos.

**Fotografia 5** - Frascos *erlenmeyers* com a mistura água/gasolina/biomassa em mesa agitadora.



**Fonte:** Acervo da autora, 2022.

Após cada tempo de agitação, os frascos foram retirados da mesa e as amostras foram submetidas à filtração, separando a biomassa da fase líquida. A amostra líquida foi, então, caracterizada com relação à coloração e o total de água adsorvida em cada amostra foi quantificado por meio de análise volumétrica, com o auxílio de uma proveta.

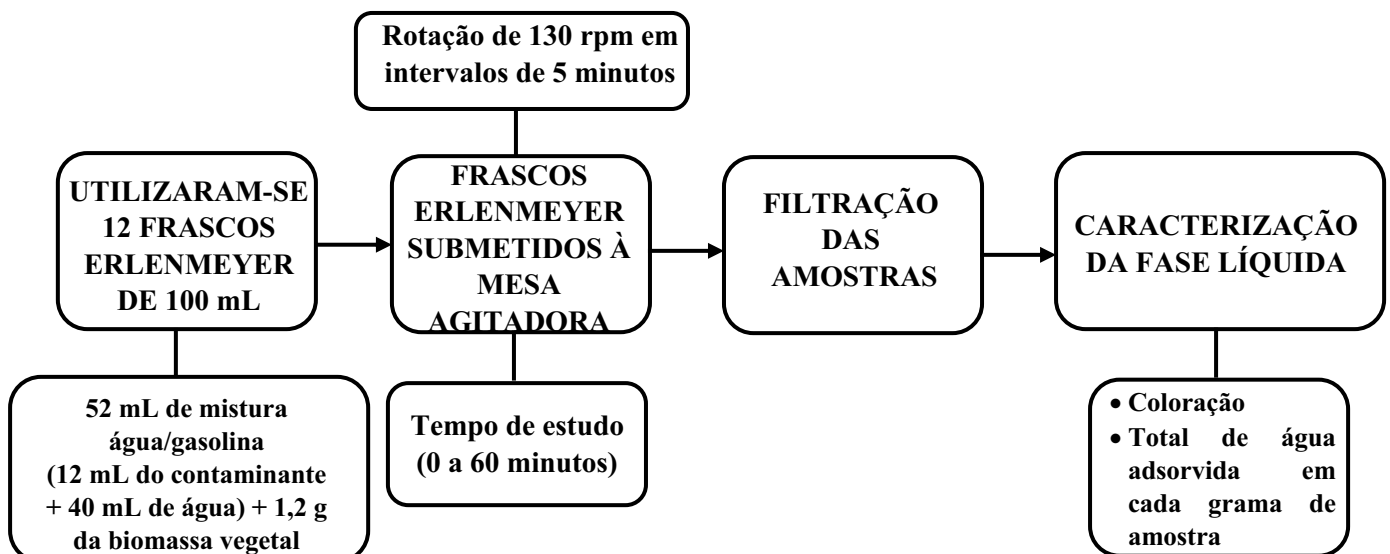
**Fotografia 6** - Proveta volumétrica contendo amostra líquida após filtração.



Fonte: Acervo da autora, 2022.

No Fluxograma 2, refere-se a metodologia da cinética de adsorção.

**Fluxograma 2** - Metodologia de cinética de adsorção.



**Fonte:** Acervo da autora, 2022.

Para o estudo do equilíbrio, que consistiu na terceira etapa do trabalho, foram obtidas as isotermas de adsorção. Os experimentos foram realizados em uma mesa agitadora, na qual foram colocados 10 frascos *erlenmeyer* contendo quantidades determinadas da biomassa vagem de algaroba na forma particulada e água contaminada com gasolina, variando a concentração inicial de 5 a 60% de contaminante, com variação de 5%, e quantidade fixa de palma de 1,2 g para cada frasco *erlenmeyer*, mantidos à agitação de 130 rpm. As medições dos poluentes e da água foram realizadas com auxílio de provetas de 10 e 50 mL. Após a adição dos poluentes e da água, foi acrescentada a biomassa vagem e, logo em seguida, os frascos *erlenmeyer* foram postos na mesa agitadora. Os dez frascos ficaram durante 60 minutos sob agitação na mesa agitadora. A amostra foi, então, filtrada para verificação da concentração final da amostra contaminada. Ao final dos experimentos, a massa do adsorvente foi aferida.

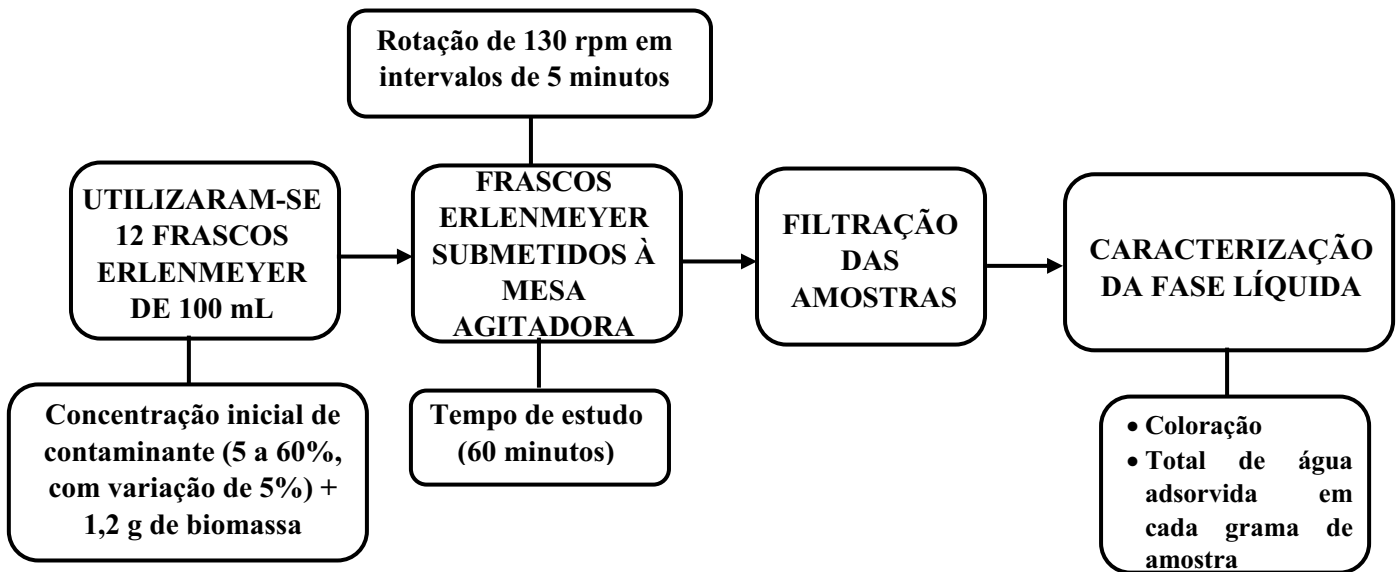
**Fotografia 7** - Frascos de Erlenmeyer com diferentes concentrações de contaminante.



**Fonte:** Acervo da autora, 2022.

No Fluxograma 3, tem-se a metodologia do equilíbrio de adsorção.

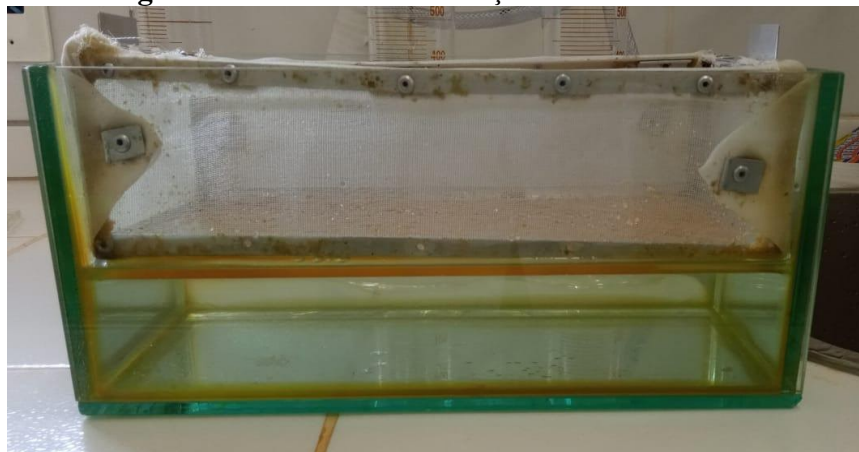
**Fluxograma 3** - Metodologia do equilíbrio de adsorção.



**Fonte:** Acervo da autora, 2022.

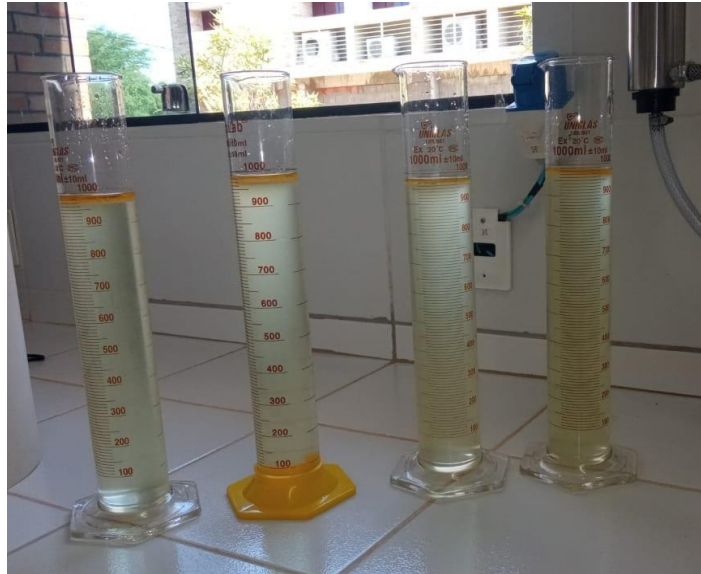
O processo de adsorção em leito diferencial foi iniciado com a adição de 4000 mL (4 L) de mistura heterogênea gasolina/água ao recipiente retangular de vidro, conforme metodologia desenvolvida por LIMA *et al.* (2014). Posteriormente, foi acrescentada na tela de alumínio a vagem de algaroba na forma de pó, e assim sobreposto no recipiente de vidro, para que a biomassa e a mistura gasolina/água ficassem em contato direto, permanecendo por tempos de contato estabelecidos. Ao final dos tempos de contato, o sistema de tela de alumínio foi retirado para que fosse separada a fase líquida da biomassa e, assim, analisada a quantidade adsorvida da adsorvente gasolina em relação ao adsorbato, por análise volumétrica com proveta.

**Fotografia 8** -Processo de adsorção em leito diferencial.



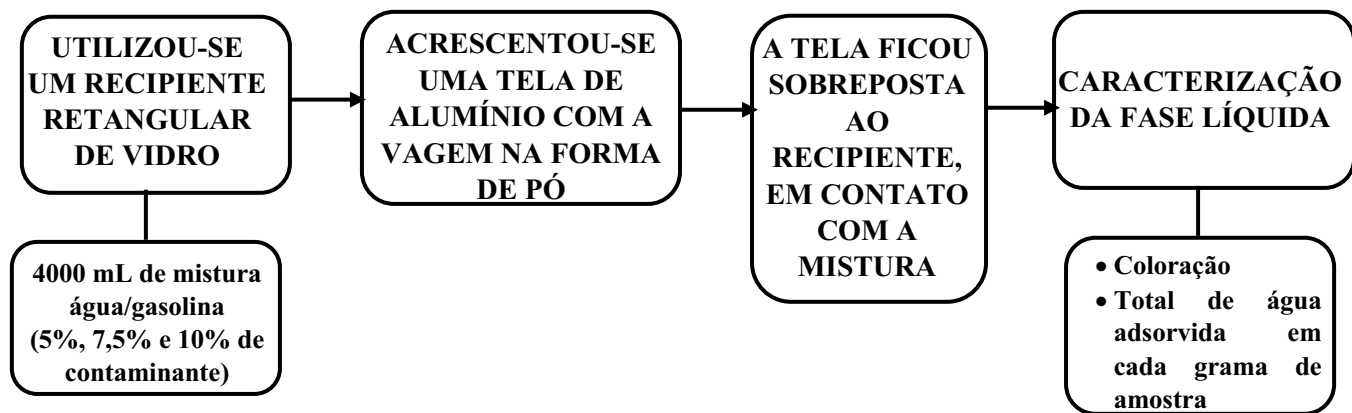
**Fonte:** Acervo da autora, 2022.

**Fotografia 9** - Análise volumétrica do leito diferencial



Fonte: Acervo da autora, 2022.

**Fluxograma 4** - Referente a metodologia do leito diferencial da adsorção.



Fonte: Acervo da autora, 2022.

#### 4.2.1 Caracterização físico-química da biomassa

Para a determinação do pH, foram pesadas 10g da amostra em um béquer e diluído em 100 mL de água. O conteúdo foi agitado até que as partículas estivessem uniformemente suspensas. Posteriormente, foi determinado o pH com o aparelho previamente calibrado.

Para a determinação das cinzas, foi utilizada a metodologia descrita por Brasil (2005). Foram colocados cadinhos de porcelana vazios na mufla a 550°C por duas horas. Em seguida,

foram transferidos para um dessecador até atingir a temperatura ambiente para, então, serem pesados em balança analítica. Em cada cadinho, adicionaram-se 2g da amostra, seguindo para a incineração na mufla a 550°C, por cinco horas. Após o tempo na mufla, os cadinhos foram colocados em dessecador para esfriar até atingir a temperatura ambiente e, em seguida, pesados. A porcentagem de cinzas das amostras foi calculada pela Equação 3:

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{m_f}{m_i} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

$m_f$ : massa final das amostras (g)

$m_i$ : massa inicial das amostras (g)

Para a relação C/N 90 ser alcançada, fez-se a determinação de carbono orgânico, segundo o método de Brasil (2005), em que primeiramente foram calculadas a umidade e as cinzas dos resíduos secos. O teor de carbono orgânico foi calculado utilizando a Equação 4:

$$\%CO = \frac{\%MO}{f} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: %MO = teor de matéria orgânica, determinada pela Equação 5:

$$\%MO = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

$M_1$ : %U = amostra úmida (g)

$M_2$ : %C = massa após a queima a 550°C (g)

f: fator de conversão de C para matéria orgânica 1,724 (face ao conceito de que o teor de C da matéria orgânica do solo é igual a 58%).

Para a retirada dos extrativos, um papel filtro foi seco em estufa a 60°C, em seguida acondicionado em um dessecador até atingir a temperatura ambiente. Foram pesados 20g de biomassa, que foram colocadas dentro do papel filtro. O conjunto papel-material foi dobrado e depositado dentro de um Soxhlet. Foi preparado um sistema de extração, unindo o aparelho de Soxhlet a um condensador de bolas e um balão volumétrico de fundo redondo de 500 mL, em que foi adicionado 150 mL de álcool etílico e 150 mL de hexano ao sistema. O conjunto foi colocado em uma manta aquecedora, permanecendo desta forma por um período de 6h de extração. Após esse tempo, o balão com o solvente e os extrativos foram removidos e o solvente

recuperado. O cartucho de papel foi armazenado na estufa a 60°C durante 3 dias, colocado em um dessecador por 15 minutos para atingir a temperatura ambiente, e o cartucho de papel foi pesado na balança analítica. Por diferença de massa, obteve-se o valor de extrativos em gramas, e dividindo pela massa da amostra analisada, foi obtido o teor de extrativos em percentual.

Para a determinação da lignina, foi colocado 1g de amostra moída em um almofariz, seguida da adição de 17,0 mL de ácido sulfúrico 72% (v/v) (resfriado em geladeira a 15°C antes do uso). Após a adição do ácido, o material foi triturado por 15 minutos de forma cuidadosa com o pistilo, até que não houvessem mais partículas visíveis não solubilizadas. O material foi posto em descanso por 24h. Após esse período de tempo, foram adicionados 306,0 mL de água destilada ao almofariz para diluir o ácido sulfúrico a 4% (v/v). O conteúdo foi transferido para o balão de 500 mL, em várias porções e o balão foi conectado a um condensador de bolas, permanecendo esse sistema ligado a uma manta aquecedora. O material foi mantido sob aquecimento e refluxo por 4h, contadas a partir da fervura. Após o tempo do refluxo, foi desligado e aguardado até que o balão atingisse a temperatura ambiente. O material contido no balão foi filtrado em um papel filtro previamente seco em estufa e com a massa averiguada, utilizando a bomba a vácuo. Todo o material contido no balão foi transferido, e lavado com água destilada até que não restasse nenhum resíduo de lignina insolúvel dentro do balão. O papel filtro foi colocado em estufa de 60°C para secagem. Após a secagem, foi resfriado o conjunto papel-lignina em dessecador por 30 minutos e, em seguida, pesada a massa do papel somada à massa de lignina em balança analítica.

Foi determinado o teor de lignina insolúvel (TLI) por meio da Equação 6:

$$\text{TLI}(\%) = \frac{\text{MFL}-\text{MF}}{\text{MA}} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

M<sub>F</sub>: massa do papel filtro limpo e seco

M<sub>A</sub>: massa da amostra

M<sub>FL</sub>: massa do papel filtro somada a massa de lignina, após secagem em estufa

Para a determinação da holocelulose, em um *erlenmeyer* de 500 mL, foram adicionados 3g do material vegetal, sem umidade e sem extrativos. Foram adicionados 120 mL de água destilada. Em uma capela de exaustão, foi preparado o banho-maria com uma temperatura constante a 70°C. Ao *erlenmeyer* foram acrescentados 2,5g de clorito de sódio (NaClO<sub>2</sub>), com pureza de aproximadamente 80%, e 1 mL de ácido acético glacial, com pureza de 99,85%. O



conjunto *erlenmeyer*-reagentes foi tampado e mergulhado no banho, aquecido por uma hora e mantido sobre um agitador magnético ligado. Após esse tempo, foram adicionados 2,5g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, e deixado por mais uma hora. Posteriormente, foram adicionados 2,5g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, e mantido no aquecimento por mais três horas. Ao longo do aquecimento houve a elevação de cloro, que foi visto pela formação de um gás amarelo-esverdeado dentro do *erlenmeyer*. Após 5h de aquecimento, o sistema foi submetido ao banho de gelo por 30 minutos. Enquanto isso, foi preparada a aparelhagem de filtração na capela de exaustão. O conteúdo do balão foi transferido para um funil de vidro sinterizado, com água destilada. O *erlenmeyer* foi lavado e o material recolhido, o precipitado foi lavado até que o filtrado tivesse um pH próximo ao da água utilizada. Em seguida, foi realizada uma lavagem com 20 mL de acetona, que foi seguida de mais um enxague com bastante água destilada. O funil foi levado para uma estufa a 60°C e seco até adquirir massa constante. Após a secagem, foi verificada a massa do funil somada à massa de holocelulose, em uma balança analítica. O teor de holocelulose (TH%) foi calculado pela equação 7:

$$TH(\%) = \frac{M_{FH} - M_F}{M_A} * 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:

$M_F$ : massa do funil limpo e seco

$M_A$ : massa da amostra

$M_{FH}$ : massa do funil somada a massa de lignina, após secagem em estufa

Para a determinação de alfacelulose, foi pesado 1g da holocelulose seca e colocada em um almofariz, à temperatura ambiente. Adicionaram-se 15 mL de uma solução de NaOH a 17,5%, aguardando-se dois minutos de contato entre a solução e a celulose, e após esse tempo, o material foi triturado por 8 minutos. Em seguida, foram adicionados 40 mL de água destilada ao almofariz, e transferido o conteúdo para um funil de vidro sinterizado. O funil foi levado para a estufa a 60°C e seco até adquirir massa constante. Foi medida a massa do funil somada à massa de alfacelulose em uma balança analítica. O teor de alfacelulose (TA%) foi determinado pela Equação 8:

$$TA(\%) = \frac{M_{FA} - M_F}{M_{AH}} \quad (\text{Equação 8})$$

Em que:

$M_F$ : massa do funil limpo e seco

$M_{AH}$ : massa da amostra de holocelulose

$M_{FA}$ : massa do funil somada à massa de alfacelulose, após secagem em estufa

Para o cálculo da densidade básica, os corpos de prova foram mergulhados em água até a saturação, para obtenção do volume verde. Para obtenção do peso seco, os mesmos corpos de prova foram levados à estufa a  $60 \pm 2$  °C até atingir peso constante. Para determinação da densidade básica utilizou-se a expressão descrita pela Equação 9.

$$D = PS / PU \quad \text{(Equação 9)}$$

Em que:

D = densidade básica

Ps = peso seco da fibra, em  $\text{g.cm}^{-3}$

Pv = Peso úmido da fibra, em  $\text{g.cm}^{-3}$

Todos os experimentos foram realizados na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Sumé, nos Laboratório de Solos e de Microbiologia.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Com base na metodologia citada, foram obtidos os dados da Tabela 1, referentes à caracterização físico-química da vagem de algaroba utilizada em estudo, com e sem semente.

**Tabela 1** - Dados referentes à caracterização da vagem de algaroba com e sem semente.

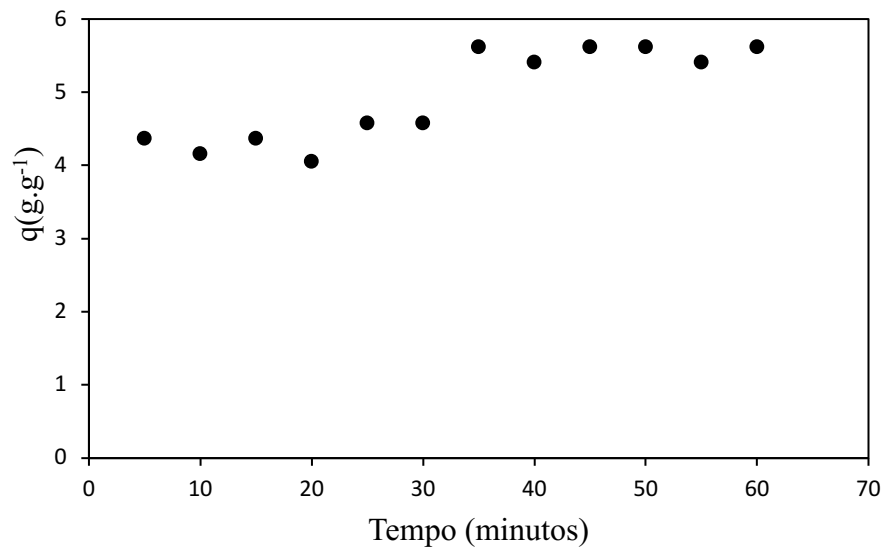
	Com semente	Sem semente
pH	5,51	5,64
Umidade	Úmido na base seca	2,15%
	Úmido na base úmida	2,38%
Densidade	60,25%	57,44%
Determinação das cinzas	14,95%	12,34%
Determinação do Carbono orgânico	8,67%	7,16%
Retirada dos extrativos	91,08%	84,94%
Lignina	31%	25%
Holocelulose	26,13	32,08%
Alfacelulose	15,66%	9,83%

Fonte: Dados da pesquisa, 2022.

### 5.2 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A partir dos dados obtidos nos experimentos realizados com a variação do tempo de contato da biomassa com semente juntamente com a mistura água/gasolina, foi construída a curva cinética de adsorção (Gráfico 1).

**Gráfico 1** - Curva cinética para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa com semente.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2022.

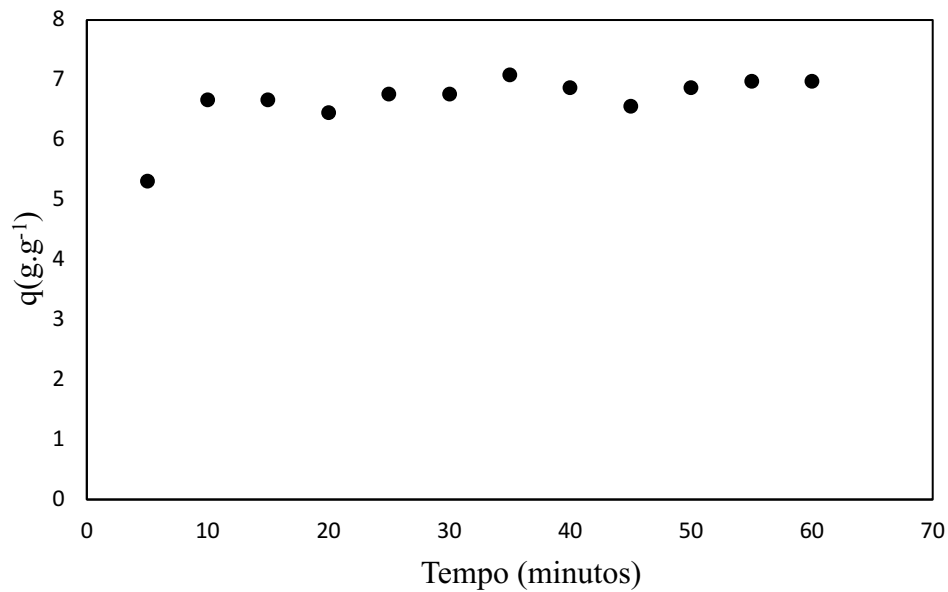
Com base no Gráfico 1, pode-se observar que a adsorção acontece nos primeiros 05 minutos de contato da biomassa com o contaminante. Desta forma, considera-se que a cinética ocorreu de forma rápida.

O valor máximo da quantidade de contaminante adsorvida,  $q$  ( $5,625 \text{ g.g}^{-1}$ ), ocorreu a partir de 35 minutos, com pequenas variações até os 60 minutos, podendo-se afirmar que o maior tempo de contato possibilitou um melhor resultado. Lima *et al.* (2020), utilizando casca de palma forrageira como bioissorvente, obtiveram valor máximo de  $4,690 \text{ g.g}^{-1}$ , o que leva a concluir que a vagem de algaroba demonstra ter maior capacidade de adsorção.

A biomassa demonstrou ser eficiente no processo adsorativo durante todo o estudo da cinética.

No Gráfico 2, tem-se a cinética de adsorção da vagem de algaroba sem semente.

**Gráfico 2** - Curva cinética para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa sem semente.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2022.

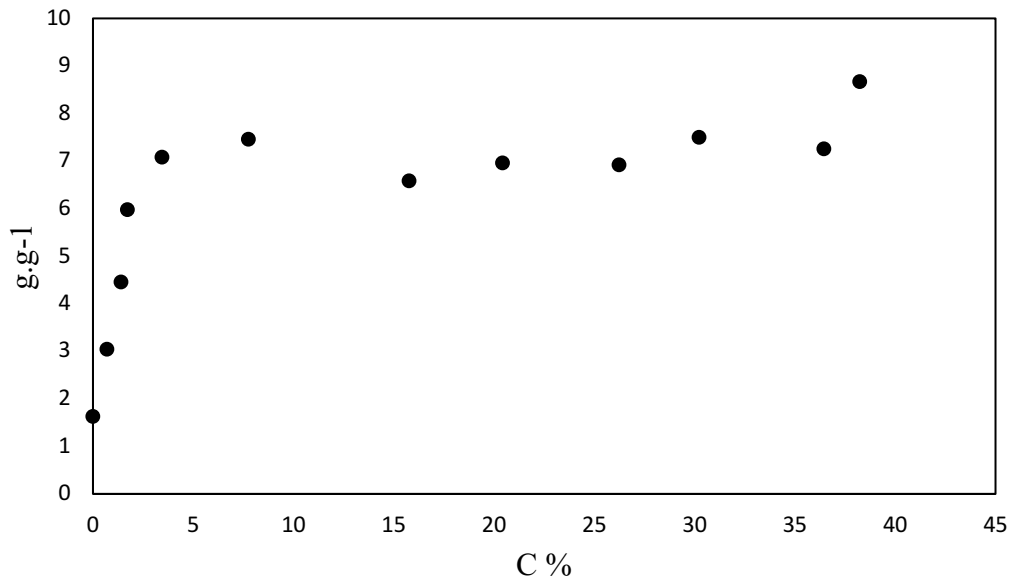
No Gráfico 2, é possível observar que a cinética de adsorção ocorreu de forma rápida, considerando que nos primeiros 5 minutos de contato da biomassa com a mistura já havia resultado.

Aos 35 minutos de contato a curva alcançou o valor máximo de  $q$  de  $7,083 \text{ g.g}^{-1}$ . Após atingir o valor máximo, houve pouca variação. Comparativamente, a vagem sem semente apresentou valores maiores do que a cinética de adsorção da vagem com semente.

### 5.3 EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO

A curva de equilíbrio de adsorção para a vagem de algaroba com semente está ilustrada no Gráfico 3.

**Gráfico 3** - Curva de equilíbrio para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa com semente.

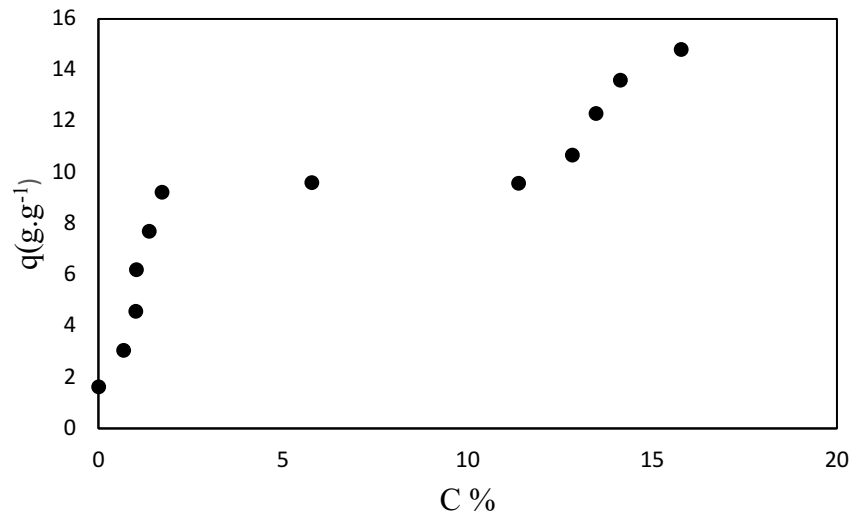


**Fonte:** Dados da pesquisa, 2022.

Considerando o Gráfico 3, é possível afirmar que houve reduções consideráveis do contaminante, sendo a capacidade máxima de adsorção igual a  $8,67 \text{ g.g}^{-1}$ , com concentração de 38,24%. O trabalho de Lima *et al.* (2020), utilizando casca de palma forrageira como biossorvente apontou um valor máximo de  $5,94 \text{ g.g}^{-1}$ . Lima *et al.* (2015), utilizou sisal (*Agave sisalana*) como biomassa adsorvente para o tratamento de água contaminada, e em seu estudo a curva de equilíbrio atingiu o valor máximo de 6 ml de gasolina por grama de sisal. Podendo-se avaliar que a vagem de algaroba demonstra ter maior capacidade de adsorção. Pode-se observar, também, que houve pouca variação entre as concentrações de 7,74% e 36,43%, mesmo assim mantendo um valor considerável de capacidade de adsorção.

A curva da isoterma de equilíbrio de adsorção para a vagem de algaroba sem semente está ilustrada no Gráfico 4.

**Gráfico 4** - Curva de equilíbrio para o sistema de adsorção gasolina/água/biomassa sem semente.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2021.

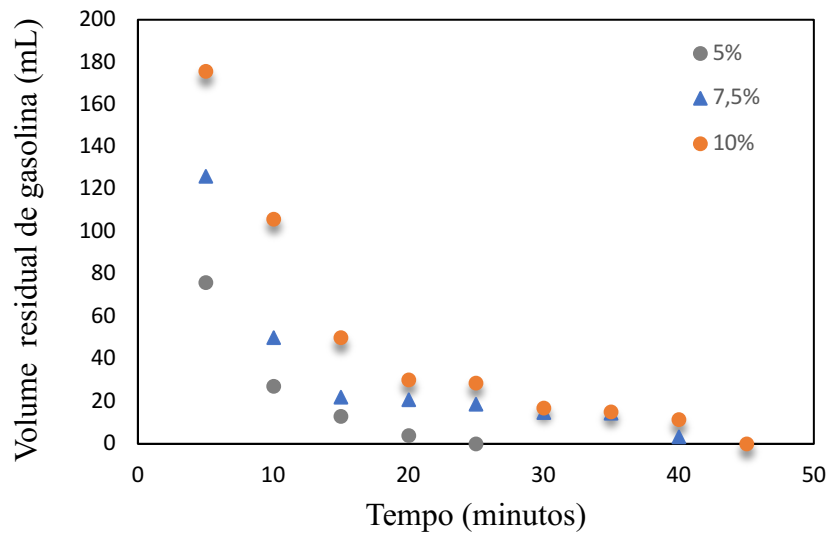
No Gráfico 4, é possível observar uma redução considerável do contaminante, atingindo um valor máximo  $q$  de  $14,812 \text{ g.g}^{-1}$  na concentração de  $15,78\%$ . Houve uma constância entre as concentrações  $1,71\%$  e  $11,38\%$ , mantendo-se boa capacidade adsorptiva.

A capacidade adsorptiva no equilíbrio demonstrou ser mais eficiente com a vagem de algaroba sem semente, apresentando um aumento satisfatório e considerável em relação à algaroba com semente.

#### 5.4 LEITO DIFERENCIAL

No Gráfico 5 e 6 estão os volumes residuais de gasolina em relação ao tempo de contato com a biomassa vagem de algaroba com e sem semente, respectivamente, com diferentes variações de concentrações de contaminantes no sistema leito diferencial.

**Gráfico 5** - Curva da cinética de adsorção para o sistema água/gasolina/biomassa com semente, em leito diferencial, para as concentrações de contaminante de 5%, 7,5% e 10%.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2022.

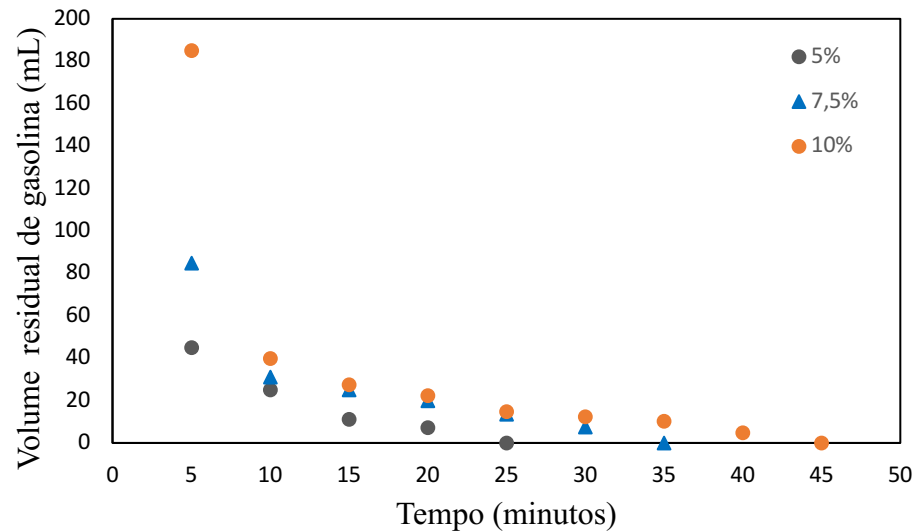
Por meio do Gráfico 5 é possível observar que no sistema de adsorção em leito diferencial para a biomassa com semente, ocorreu uma redução no volume de contaminante, sendo a ocorrência desta redução de forma rápida, apresentando resultado nos primeiros 5 minutos de contato.

Avaliando as concentrações de forma individual, pode-se observar que para a concentração de 5% ocorreu a remoção total do contaminante aos 25 minutos de contato da biomassa com o contaminante. Para a concentração de 7,5% houve um volume residual de 3,5 mL aos 40 minutos de contato da biomassa. E para a concentração de 10% houve remoção total de contaminante aos 45 minutos de contato.

No trabalho de Lima *et al.* (2020), utilizando casca de palma forrageira como biossorvente, os resultados mostraram que nas concentrações de 5 e 7,5% não havia resíduo de contaminante após 25 minutos. E que, para 10%, o volume residual de gasolina foi de 0,5 mL aos 45 minutos.



**Gráfico 6** - Curva da cinética de adsorção para o sistema água/gasolina/biomassa sem semente, em leito diferencial, para as concentrações de contaminante de 5%, 7,5% e 10%.



**Fonte:** Dados da pesquisa, 2022.

No Gráfico 6 é possível observar que no sistema de adsorção em leito diferencial para a biomassa sem semente, ocorreu a redução no volume de contaminante, sendo a ocorrência desta redução de forma rápida, apresentando resultado nos primeiros 5 minutos de contato.

Avaliando as concentrações de forma individual, pode-se observar que, para a concentração de 5%, ocorreu remoção total do contaminante aos 25 minutos de contato da biomassa com o contaminante. Para a concentração de 7,5%, houve remoção total do contaminante aos 35 minutos de contato da biomassa. E, para a concentração de 10%, houve remoção total aos 45 minutos de contato.

Relacionando as curvas da cinética de adsorção em leito diferencial, pode-se observar que a vagem de algaroba sem semente apresentou cinética mais rápida do que a vagem de algaroba com semente.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nos experimentos com a biomassa vagem de algaroba, com e sem semente, a espécie confirmou sua eficácia como adsorvente de gasolina presente em água. As curvas de cinética de adsorção demonstraram remoção rápida tanto na biomassa com semente quanto naquela sem semente. Relacionando as duas curvas pode-se concluir que a vagem de algaroba sem semente apresentou uma maior eficiência em comparação com a vagem de algaroba com semente.

Para as isotermas de equilíbrio, pode-se dizer que ocorreu uma redução considerável do contaminante nas isotermas da vagem com e sem semente, com remoção total com a biomassa sem semente. Comparando as duas isotermas, observou-se que no equilíbrio de adsorção da vagem de algaroba sem semente houve uma maior eficiência comparado à vagem de algaroba com semente.

O estudo do leito diferencial, com ambas as biomassas, demonstraram resultados satisfatórios. Desta forma, pode-se considerar os processos com eficácia satisfatória para o tratamento de efluentes contaminados por gasolina, ressaltando que a vagem de algaroba sem semente apresentou um melhor desempenho em detrimento da vagem de algaroba com semente.

Sendo assim, os experimentos confirmaram os resultados do trabalho de PIBIC 2019 e 2020, desenvolvido por Lima e Farias, no qual a vagem de algaroba mostrou-se eficiente na remoção de gasolina presente em água. Além disso, a vagem de algaroba sem semente se mostrou mais eficiente do que a vagem de algaroba com semente em todos os experimentos realizados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. P.; SANTOS, K. G. dos. Chemical Engineering Laboratory teaching using Project-based learning approach: gas adsorption using banana peel. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 3. Disponível em: [www.rsdjournal.org](http://www.rsdjournal.org). Acesso em: 5 fev. 2021.
- AMORIM, F. V. **Estudo do poder adsorptivo do resíduo gerado na produção de cerveja utilizando sistema em leito diferencial**. Trabalho de conclusão de curso em Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, 2016.
- ANDRADE, L. N. de. **Avaliação do uso da oxidação química in situ em solos ferríferos para remediação de água subterrânea contaminada pela mistura gasolina/etanol**. 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: [www.repositorio.ufmg.br](http://www.repositorio.ufmg.br). Acesso em: 04 fev. 2021.
- BENETTI, C. N. **Estudo da degradação de águas contaminadas artificialmente por gasolina comum via sistema fenton e foto-fenton**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Química) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, Ponta Grossa, 2017.
- BRAGA, A. P.; EZEQUIEL, J. M. B.; BRAGA, Z. C. A. da C.; MENDONÇA JÚNIOR, A. F. de. Composição química e digestibilidade da vagem de algarobeira (*Prosopis juliflora*, (SW) DC) submetida a diferentes tratamentos térmicos, **Revista Caatinga** (Mossoró), v. 22, n. 1, p. 256-262, janeiro/março de 2009.
- BRITO, E. de O. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas rasas através dos métodos Ground Penetrating Radar (GPR) e Cromatografia Gasosa (CG): estudo de caso em posto de combustível, na cidade de São Miguel do Guamá, Pará, Brasil**. Orientador: Milton Antônio da Silva Matta. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: [www.repositorio.ufpa.br](http://www.repositorio.ufpa.br). Acesso em: 04 fev. 2021.
- CARDOSO, J. E. T. **Avaliação de técnicas de remediação em processos de contaminação da água e do solo por hidrocarbonetos**. 2018. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho", Bauru, 2018. Disponível em: [www.repositorio.unesp.br](http://www.repositorio.unesp.br). Acesso em: 08 fev. 2022.
- CARNEIRO, G. C. A.; DIAS, D. A. F.; FONSECA, E. R.; GONÇALVES, J. A. C. Contamination of groundwater by organic compounds in the Velhas river watershed, in the state of Minas Gerais, Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. Disponível em: [www.rsdjournal.org](http://www.rsdjournal.org). Acesso em: 8 dec. 2021.
- CAVALCANTE, A. M. de M; ALMEIDA, R. D; MELO, A. M; MORAIS, B. A. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba/ Models of prediction of drying kinetics of algaroba grains, **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 11192-11209, 2020.

CAVALCANTE, L. E. **Aplicação da adsorção utilizando casca da palma forrageira (*Opuntia ficus*) como adsorvente na descontaminação de corpos d'água e da técnica de biopilhas para o solo, contaminados com gasolina.** Trabalho de Conclusão de Curso. 70 f. Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-PB, 2018.

COELHO JUNIOR, L. M.; MEDEIROS, M. G. de; NUNES, A. M. M.; MACIEIRA, M. L. da L.; FONSECA, M. B. da. **Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba.** *Ciência Florestal*, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 72, 6 abr. 2020. Universidad Federal de Santa Maria. Disponível em: [www.periodicos.ufsm.br](http://www.periodicos.ufsm.br). Acesso em: 04 jun. 2021.

CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 3., 2018, João Pessoa. **Algaroba como fonte alternativa na produção de celulose.** João Pessoa: Cointer, 2019. 7 p. Disponível em: [www.cointer-pdvagro.com.br](http://www.cointer-pdvagro.com.br). Acesso em: 07 jun. 2021.

COSTA, F. M. A. S. **Utilização de resíduos de grãos de cervejaria na absorção do corante reativo azul 5G em soluções aquosas: sistemas batelada e leito fixo.** 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

DUTRA, A. S. F. **Potencial fitorremediador da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC) e percepção quanto aos riscos toxicológicos associados a rejeitos de mineração no semiárido brasileiro.** 2019. 105f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

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.** 2018. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2018. Disponível em: [www.dspace.sti.ufcg.edu.br](http://www.dspace.sti.ufcg.edu.br). Acesso em: 03 fev. 2020.

FIGUEIREDO, V. O. **Avaliação da exposição ao benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) em trabalhadores expostos ocupacionalmente, no município do Rio de Janeiro.** 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2018.

LIMA, L. M. R.; COSTA, K. J. B.; OLIVEIRA, E. D. C.; OLIVEIRA, E. K. G.; SANTOS, T. C.; SILVA, V. L. M. M. **Utilização do mandacaru (*Cereus jamacaru*) como biomassa adsorvente de gasolina presente em corpos d'água.** X Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Guarujá-SP, 2014.

LIMA, L. F. de. **Adsorção de hidrocarbonetos BTX por argila organofílica em sistema dinâmico de leito fixo: Hydrocarbons BTX adsorption by organoclay in dynamic system of fixed bed.** 2016. 1 recurso online (98 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: [www.repositorio.unicamp.br](http://www.repositorio.unicamp.br). Acesso em: 5 fev.2021.

LIMA, L. M. R.; TAVARES, D.; OLIVEIRA, F. J. da C. OLIVEIRA; SILVA, J. L. B. C. da; MARTINS, T. D. N. MARTINS; LIMA, L. M. R. LIMA. Avaliação do poder adsorptivo da palma forrageira (*opuntia ficus*) para remoção de contaminantes hidrogenocarbonados em águas de descarte, XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza-CE, 2016.

LIMA, L. M. R.; FEITOZA, E. D. A.; CAVALCANTE, L. E.; SOUSA, R. A. de; LIMA, L. M. R. L.; ALBUQUERQUE, T. A. de, **Study of use of biomass cactus pear forage dried in oven for removal of gasoline contained in discharge waters by adsorption process**, XXII Simpósio Nacional de Bioprocessos/XIII Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas, Uberlândia-MG, 2019.

LIMA, L. M. R. L.; SILVA, J. L. B. C. da; CAVALCANTE, L. E.; FEITOZA, E. D. A.; LIMA, L. M. R. L. Evaluation of adsorptive power of cactus pear forage without peel for use in removal of common gasoline in water bodies, **The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC**, Vol. 05, N. 01, 2019.

LIMA, L. M. R.; SOUSA, R. A.; ALBUQUERQUE, T. A. de; FARIAS, I. G.; LIMA, L. M. R. Study of influence of granulometry of cactus pear forage (*Opuntia ficus*) bark biomass on removal of organic contaminants in water bodies by differential bed adsorption technique, **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 10, p. 79659-79670, 2020.

LIMA, L. M. R.; CARVALHO, E. da S.; NEPOMUCENO, T. C.; OLIVEIRA, E. D. C.; SILVA, V. L. M. M. TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM GASOLINA ADITIVADA POR MEIO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO UTILIZANDO SISAL (*Agave sisalana*) COMO BIOMASSA ADSORVENTE. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA**, 28., 2015, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Abes, 2015. p. 1-8. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/I-051.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2022.

MACIEL, A. P. **Elaboração e aplicação de nanoadsorventes magnéticos funcionalizados com L-lisina para a remoção de AAS de soluções aquosas**. 2020. xiv, 75 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

MARTINS, C. de P. **Avaliação da biodegradação de compostos BT da gasolina, com e sem a adição de etanol, em solos residuais de gnaiss por meio de ensaios em colunas**. 2015. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

MORAIS, V. L. M. de. **Purificação de efluentes contaminados com hidrocarbonetos por adsorção em leito fixo de biomassa**. 2005. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2005.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G.S. C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 1ed. Fortaleza-CE. Imprensa Universitária, 256p., 2014.

OSORIO, D. S. G. **Estudo comparativo de sílicas mesoporosas organofuncionalizadas magnéticas como adsorventes de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX)**. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Pós Graduação em Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br). Acesso em: 14 jan. 2021.

SANTOS, D. F. **Estudo da capacidade de adsorção do carvão ativado de osso bovino para remoção de ácidos naftênicos em mistura modelo e real de querosene de aviação**. 2020. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

SANTOS, K. G. dos. **Adsorção de biodiesel com óxido de ferro magnético**. 2020. 89 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR.

SANTOS, R. M. dos. **Efeito da contaminação do óleo lubrificante por combustíveis na lubrificação para motores-flex**. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SBIZZARO, M. **Capacidade de adsorção da atrazina em biocarvões produzidos a partir de diferentes espécies de bambus**. 2020. 76 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR.

SILVA, J. L. B. C. da. **Avaliação do poder adsorptivo da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) para uso na remoção de gasolina comum em corpos d'água**. 2017. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2017. Disponível em: [www.dspace.sti.ufcg.edu.br](http://www.dspace.sti.ufcg.edu.br). Acesso em: 15 jan. 2021.

SILVA, J. L. L. **Avaliação da qualidade da água em poços nas vizinhanças de postos após 15 anos da ocorrência de vazamento de combustíveis em Recife, Pernambuco**. 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civi, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: [www.repositorio.ufpe.br](http://www.repositorio.ufpe.br). Acesso em: 15 jan. 2021.

SILVA, K. K. da. **Avaliação da produtividade primária bruta da caatinga do semiárido paraibano**. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2019.

SOUZA, B. I; ARTIGAS, R. C; LIMA, E. R. V. de. The Caatinga and desertification. *Mercator*, [S.L.], v. 14, n. 01, p. 131-150, 26 abr. 2015. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*. Disponível em: [www.scielo.br](http://www.scielo.br). Acesso em: 09 fev. 2022.

SOUZA, R. A. de. **Estudo da influência do processo de secagem da biomassa casca de palma forrageira (*Opuntia ficus*) na remoção de gasolina em corpos d'água, utilizando o sistema de adsorção em leito diferencial**. 2019. 48f. (Trabalho de Conclusão de Curso – Monografia), Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, Centro de

Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2019. Disponível em: [www.dspace.sti.ufcg.edu.br](http://www.dspace.sti.ufcg.edu.br). Acesso em: 13 de nov. de 2021.

SOUZA, D. T.; BENETTI, C. N.; SAUER, ELENISE; TIBURTIUS, E. R. L. Avaliação da eficiência do processo fenton e tipo-fenton na remediação de solos contaminados por gasolina com e sem etanol. **Anais da VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo-RPCS**, 2019. Disponível em: [www.rpcs2019.com.br](http://www.rpcs2019.com.br). Acesso em: 08 set. 2022.

SOUZA, R. S; LIMA, L. M. R; SILVA, V. L. M. M. **Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar**. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2 (2011) 123-126, ISSN 1809-8797, 2011.

VIEIRA, S. M. M.; COSTA, T. B.; NAVES, F. L. UTILIZAÇÃO DE PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO (FOTO-FENTON) NO TRATAMENTO DE EFLUENTE À BASE DE GASOLINA COMERCIAL. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 0014-0018, 14 dez. 2017. Universidade Federal de Vicosa. Disponível em: [www.periodicos.ufv.br](http://www.periodicos.ufv.br). Acesso em: 02 fev. 2022.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, São Paulo, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014. Disponível em: [www.revista.fct.unesp.br](http://www.revista.fct.unesp.br). Acesso em: 07 jun. 2021.