



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**MARIA ANDREZA DE OLIVEIRA SILVA**

**BIOADSORVENTES ALTERNATIVOS PARA REMOÇÃO DE  
CONTAMINANTES ORGÂNICOS (GASOLINA) – ESTUDOS DE CASOS**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2020**

MARIA ANDREZA DE OLIVEIRA SILVA

**BIOADSORVENTES ALTERNATIVOS PARA REMOÇÃO DE  
CONTAMINANTES ORGÂNICOS (GASOLINA) – ESTUDOS DE CASOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como exigência para  
obtenção do Título de Graduação em  
Química Industrial da Universidade  
Estadual da Paraíba – UEPB.

**Orientadora:** Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586b Silva, Maria Andreza de Oliveira.  
Bioadsorventes alternativos para remoção de  
contaminantes orgânicos (gasolina) [manuscrito] : estudos de  
casos / Maria Andreza de Oliveira Silva. - 2020.  
50 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química  
Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de  
Ciências e Tecnologia, 2020.  
"Orientação : Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz ,  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
1. Bioadsorção. 2. Combustível. 3. Biomassa. I. Título  
21. ed. CDD 662.669 2

MARIA ANDREZA DE OLIVEIRA SILVA

**BIOADSORVENTES ALTERNATIVOS PARA REMOÇÃO DE  
CONTAMINANTES ORGÂNICOS (GASOLINA) – ESTUDOS DE CASOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como exigência para  
obtenção do Título de Graduação em  
Química Industrial da Universidade  
Estadual da Paraíba – UEPB.

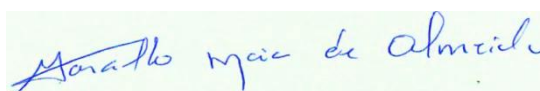
Aprovada em: 15 / 12 /2020.

**BANCA EXAMINADORA**



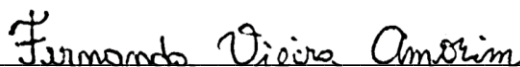
---

Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Profa. Msc. Fernanda Vieira Amorim  
Centro Universitário Brasileiro (UNIBRA)

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2020**

## DEDICATÓRIA

À minha filha Pietra.  
É ela que me faz querer sempre buscar o melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

O primeiro agradecimento é a Deus, pois por Ele não desisti nos momentos difíceis. Sou grata pela saúde e coragem que Ele me proporcionou desde sempre.

Agradeço aos meus pais Ginalda e Edmilson por todo o incentivo, por segurarem minha mão nos momentos mais difíceis, por investirem sempre em mim e na minha educação. Agradeço por não desistirem de mim e confiar no meu potencial, a eles a minha gratidão é eterna.

Aos meus irmãos David e Alice que direta ou indiretamente sempre me auxiliaram e apoiaram com relação aos meus estudos.

À minha filha Pietra, por ser sempre carinhosa e companheira e mesmo tão pequena entender porque eu tive que ficar longe dela pra conseguir finalizar o curso.

A meu amigo especial Yaggo, que esteve comigo em toda a graduação, foi meu parceiro, sempre me dando palavras de incentivo e nunca me deixando desistir diante das adversidades, ele foi meu porto seguro e sou muito grata por tudo.

A minha orientadora, Profa Dra. Marcia Ramos Luiz, por ser uma excelente profissional, como também uma pessoa incrível, que me deu a oportunidade como voluntária em um projeto de adsorção, do qual agregou muito conhecimento. Agradeço pela paciência, companheirismo e incentivos.

Aos meus companheiros mais próximos de turma, Letícia, Cecília, Lidiane, Diego, Izabelle e Milena, por terem sido grandes companheiros de choros e felicidades durante o curso. Minha eterna “gangue”, foram pessoas incríveis que estiveram comigo sempre dando bastante apoio.

Agradeço também a todos os professores e profissionais da UEPB, que de direta ou indiretamente colaboraram comigo para a conclusão do curso.

## RESUMO

Um dos desafios encontrados pela sociedade moderna é a minimização dos impactos negativos causados ao meio ambiente por processos industriais. Dentre esses problemas, os derramamentos de combustíveis, que podem acarretar danos irreparáveis ao meio ambiente. Com isso, busca-se métodos para combater ou minimizar esses impactos. A adsorção é uma técnica de separação bastante usada para remoção de contaminantes orgânicos, com resultados satisfatórios. A proposta desse trabalho foi analisar a viabilidade do uso de biomassas como bioadsorventes com a finalidade de remover gasolina de corpos aquáticos. A metodologia usada para desenvolvimento deste trabalho foi a pesquisa quantitativa. No que tange ao objetivo, trata-se de uma pesquisa exploratória, uma vez que a compreensão do tema proposto será realizada por levantamentos bibliográficos enfatizando estudos de caso. Foram analisados seis trabalhos, onde as biomassas passaram por estudos da cinética de adsorção, isotermas de equilíbrio e o sistema de leito fixo e/ou diferencial. Em todos os resíduos agrícolas utilizados houve secagem, em estufa e/ou ao ar livre com granulometrias pré-determinadas. Foram empregadas misturas de água/gasolina em várias concentrações e tempos estabelecidos. Nos resultados da cinética de adsorção as quantidades de gasolina removida foram relevantes, apresentando em sua maioria, uma adsorção rápida. Para o resíduo de acerola os resultados foram 7,0, 9,0 e 10 mL/g adsorvidos; a palma forrageira adsorveu cerca de 8,5 mL/g; o sisal 5,5; 3,5 e 4,0 mL/g; e o bagaço de malte removeu 4,0; 5,0 e 6,0 mL/g. Para as isotermas de equilíbrio, o bagaço de acerola foi o que mais adsorveu, com 11,4 mL/g, comparado ao malte que teve sua capacidade máxima de aproximadamente 8,0 mL/g. Assim sendo, os bioadsorventes avaliados tiveram bons comportamentos com respeito a remoção do contaminante, apresentando resultados satisfatórios. A utilização de resíduos culturais para o tratamento de efluentes se torna uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental, econômico e social, uma vez que o reaproveitamento dos resíduos incorpora ao processo de tratamento de rejeitos de alimentos que são desperdiçados e tem destinação muitas vezes inadequadas contribuindo para poluir dos ambientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioadsorção. Combustível. Biomassa.

## **ABSTRACT**

One of the challenges faced by modern society this is the minimization of negative impacts caused to the environment by industrial processes. Among these problems, fuel spills which can cause irreparable damage to the environment. With this, methods are sought to combat or minimize these impacts. The proposal of this work was to analyze the feasibility of using biomass as bioadsorbers in order to remove gasoline from aquatic bodies. The methodology used to develop this work was quantitative research. Regarding the objective, it is an exploratory research, since the understanding of the proposed theme will be carried out by bibliographical surveys emphasizing case studies. Six studies were analyzed, where the biomasses underwent studies of adsorption kinetics, equilibrium isotherms and the fixed bed and/or differential bed system. All the agricultural residues used were dried, in ovens and/or outdoors with pre-determined granulometries. Water/gasoline mixtures with varying concentrations and established times were used. In the results of the adsorption kinetics the quantities of gasoline removed were relevant, presenting, in its majority, a fast adsorption. For the acerola residue the results were 7,0, 9,0 and 10 mL/g adsorbed; the forage palm adsorbed about 8,5 mL/g; the sisal 5,5; 3,5 and 4,0 mL/g; the malt bagasse removed 4.0; 5.0 and 6.0 mL/g. For equilibrium isotherms, acerola bagasse proved to be the most adsorbed, with 11.4 mL/g, compared to malt that had its maximum capacity of approximately 8.0 mL/g. Therefore, the bioadsorbers evaluated had good behaviors regarding the removal of the contaminant, presenting satisfactory results. The use of cultural residues for the treatment of effluents becomes an interesting alternative from an environmental, economic and social point of view, since the reuse of residues incorporates into the process of treatment of food waste that is wasted and has often inadequate destination. contributing to pollute the environments.

**KEYWORDS:** Bioadsorption. Fuel. Biomass.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nomenclatura do fenômeno de adsorção.....	20
Figura 2 – Formas possíveis de isotermas de adsorção.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da gasolina brasileira.....	16
Tabela 2 – Comparação entre adsorção física e química.....	22

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	14
2.1	IMPACTOS AMBIENTAIS DO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS	14
2.2	GASOLINA	15
2.3	OS RESÍDUOS INDUSTRIAIS E SEU REAPROVEITAMENTO	17
2.4	ADSORÇÃO	18
2.4.1	Tipos de Adsorção	21
2.4.1.1	<i>Adsorção Física</i>	21
2.4.1.2	<i>Adsorção Química</i>	21
2.4.2	Fatores que influenciam o processo de adsorção	22
2.4.2.1	<i>Propriedades do adsorvente</i>	22
2.4.3.2	<i>Área superficial</i>	22
2.4.3.3	<i>Temperatura</i>	23
2.4.3.4	<i>Velocidade de agitação</i>	23
2.5	CINÉTICA DE ADSORÇÃO	23
2.6	ISOTERMAS DE ADSORÇÃO	25
2.6.1	Isoterma de Langmuir	27
2.6.2	Isoterma de Freundlich	27
2.7	BIOADSORVENTES	28
2.8	BIOMASSA	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	30
3.1	ARTIGO 1 - BIOMASSA BAGAÇO DE MALTE	30
3.2	ARTIGO 2 - BIOMASSA BAGAÇO DE ACEROLA	31
3.3	ARTIGO 3 - BIOMASSA VAGEM DE FEIJÃO	32
3.4	ARTIGO 4 - BIOMASSA CASCA DE BANANA	32
3.5	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 5 – BIOMASSA PALMA FORRAGEIRA	33
3.6	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 6 – BIOMASSA SISAL	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	35
4.1	ARTIGO 1 - BIOMASSA BAGAÇO DE MALTE	35

4.2 ARTIGO 2 - BIOMASSA BAGAÇO DE ACEROLA .....	36
4.3 ARTIGO 3 - BIOMASSA VAGEM DE FEIJÃO .....	36
4.4 ARTIGO 4 - BIOMASSA CASCA DE BANANA .....	37
4.5 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 5 – BIOMASSA PALMA FORRAGEIRA.....	37
4.6 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 6 – BIOMASSA SISAL .....	38
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É notório que com o crescimento da população mundial, as tecnologias avancem igualmente, de forma que é necessária uma demanda energética cada vez maior das indústrias, o que leva a um consumo maior do petróleo e seus derivados. Atrelado a esse fato, o uso desenfreado e sem um controle adequado pode levar a descartes incorretos, acarretando em impactos ambientais a água, fauna, flora e ecossistemas do planeta.

A poluição ambiental é, sem dúvida alguma, um dos maiores problemas de países desenvolvidos e em desenvolvimento. É um fato decorrente de inúmeros fatores, como o mau uso de recursos naturais e a falta de consciência ambiental de parte da sociedade (LIMA, 2010).

Segundo Costa et al. (2010), a poluição das águas ocorridas por acidentes cada vez mais frequentes, que acabam por lançar muitos poluentes nos ambientes aquáticos é um fato preocupante, sendo essencial o levantamento das condições de qualidade e o tratamento dos efluentes industriais, que representam um grande risco para seres vivos de uma forma geral.

Os impactos ambientais causados por contaminantes tem consequências inúmeras e até irreversíveis, afetando não só ecologicamente, mas socialmente e economicamente, acarretando também prejuízos à saúde humana (AMORIM, 2016).

A gasolina é um hidrocarboneto originado a partir do petróleo. É uma substância líquida, inflamável e volátil, composta por uma mistura de substâncias químicas com mais de 400 hidrocarbonetos alifáticos (PETROBRAS, 2011). Como ela é um composto de fácil escoamento, tem uma capacidade de alcançar grandes distâncias quando entra em contato com o solo, podendo atingir regiões próximas como cisternas, o subsolo e o lençol freático, ocasionando uma série de problemas para a sociedade e o meio ambiente (JÚNIOR; PASQUALETTO, 2008).

Diante da problemática que os contaminantes causam ao meio ambiente, tem-se buscado métodos que possam minimizar esses impactos. A adsorção tem sido alvo de estudo como uma alternativa para tratamento de efluentes industriais que contenham contaminantes que venham a interferir no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos ao serem lançados no ambiente sem um tratamento

adequado (SILVA et al., 2017). Para Almeida e Santos (2020) uma desvantagem do processo de adsorção é o alto preço de adsorventes comerciais. Assim, novos adsorventes têm sido estudados de forma a tornar este processo economicamente mais viável e atrativo, mantendo a sua eficácia.

Nos últimos anos, pesquisas sobre o uso de resíduos agroindustriais para a remediação de ambientes contaminados pelo processo de adsorção vem ganhando destaque devido à elevada quantidade de resíduos que a agroindústria produz que por sua vez podem constituir sérios problemas de acordo com seu descarte final (MARTINS; JESUS JUNIOR, 2011).

O efeito das biomassas vem sendo estudado para a remoção de metais pesados de efluentes industriais e também efluentes contendo compostos orgânicos, como é o caso dos efluentes de petróleo e derivados (CARVALHO, 2014).

Diante deste cenário, várias vias de tratamento podem ser citadas para a destinação final adequado dos efluentes industriais, como pode ser citado a flotação-coagulação, fitorremediação e degradação eletroquímica e a adsorção. A adsorção vem sendo um dos melhores métodos de tratamento destes efluentes por possuir várias vantagens como baixo custo, eficiência e simplicidade (BEZERRA et al., 2014).

O presente trabalho tem como proposta apresentar a importância de se analisar teoricamente a técnica de adsorção usada na remoção da contaminante gasolina, usando como referencial seis artigos com diferentes biomassas, todas oriundas do setor agrícola, como adsorventes de baixo custo, sendo promovida uma maior sustentabilidade nos experimentos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a partir do levantamento bibliográfico a eficiência do método de adsorção de contaminantes orgânicos (gasolina) em água através de adsorventes sustentáveis.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica acerca do processo de adsorção.
- Analisar os resultados de artigos científicos sobre a capacidade adsortiva de biossorventes.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS

O petróleo é um líquido viscoso, de coloração escura, cuja composição química varia de lugar para outro. Em geral, contém compostos de enxofre, oxigênio, nitrogênio, metais e outros elementos. É formado por uma mistura de diferentes hidrocarbonetos com diferentes pontos de ebulição (MILLIOLI, 2009)

É um combustível fóssil que tem diversas utilidades e aplicações. Ele é caracterizado por ser matéria-prima e/ou constituinte de inúmeros produtos como calçados, plásticos, combustíveis, entre outros. Apresenta também grande potencial energético, já que grande parte da produção de energia global é baseada nesse combustível (MARTINS et al., 2015).

O petróleo é bastante explorado, mesmo sendo um recurso natural não renovável, o seu uso é sempre frequente no cotidiano mundial. A exploração dele tem gerado impactos ao ambiente e com isso tem-se exigido um processo de licenciamento ambiental, que venha estabelecer medidas para diminuir esses impactos (SILVA, 2008).

Durante o processo de extração do petróleo podem ocorrer acidentes. Todo derramamento de petróleo no ambiente marinho, independentemente das proporções que acontece, é considerado uma catástrofe ambiental (MARTINHO, 2016).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente define impacto ambiental, em sua Resolução nº 001/86, como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, de forma direta e indireta venham afetar: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e; a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

O impacto ambiental se refere aos efeitos que as atividades humanas acarretam a sociedade e principalmente ao meio ambiente. Os efeitos são os mais variados, desde pequenas mudanças na composição química do ar e da água, até transformações complexas de natureza química, física e biológica do ar, água, sedimentos, flora e fauna (SÁNCHEZ, 2013).



Segundo Oliveira (2012), nos últimos anos, internacionalmente, tem-se notado uma preocupação crescente em relação a poluição advinda pela exploração dos recursos naturais e também por ser cada vez mais frequente e causar em boa parte das vezes, danos irreversíveis ao meio ambiente.

No Brasil tem-se ciência de inúmeros desastres ambientais ao longo dos anos, no ano de 1984 uma falha mecânica que ocorreu em dutos subterrâneos da Petrobras espalhou cerca de 700 mil litros de gasolina na vila socó na cidade de Cubatão, SP. Há também os casos de rompimento de barragens e vazamento de óleos que causam danos quase que irreparáveis no ecossistema brasileiro (DANTAS, 2015).

A contaminação de corpos hídricos por petróleo e derivados tem sido um dos principais problemas ambientais da atualidade e resulta os mais diversos prejuízos, como o desequilíbrio ecológico, acarretando danos à fauna e flora e a redução da disponibilidade de luz solar no meio aquático (FARIA et al., 2018).

As questões ambientais são um assunto de dimensão global e a origem desses problemas geralmente se atribui ao grande crescimento econômico devido a exploração dos recursos naturais, o que causa o seu esgotamento, já que muitos desses recursos não são renováveis.

As técnicas para minimização dos impactos que o derramamento de óleos e derivados causam ao meio ambiente são continuamente estudadas, em busca de técnicas que agridem cada vez menos o meio ambiente e que tenham o melhor custo-benefício social e financeiro e que necessitam de um espaço de tempo (AMORIM, 2019).

Diante disso, há uma busca de métodos que diminuam de forma considerável os impactos causados por poluentes. Os que vem impactando de forma significativa é a gasolina, sendo este o combustível mais utilizado em todo o mundo.

## 2.2 GASOLINA

A gasolina apresenta em sua composição uma mistura complexa de hidrocarbonetos hidrofóbicos voláteis, sendo a maioria classificados como alifático ou aromáticos. Os compostos alifáticos compreendem a gama de compostos como butano, pentano, hexano e octano (SWICK, 2014).

A gasolina é um dos derivados do petróleo mais requisitados no mundo, trata-se de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, que apresenta ponto de ebulição entre 30 e 250°C e envolve mais de 1.200 compostos de carbono, dentre eles os aromáticos. Os hidrocarbonetos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, que possuem o anel benzênico em sua estrutura, são os primeiros constituintes da gasolina que atingem o lençol subterrâneo em casos de vazamentos (RODRIGUES et al., 2017).

A gasolina brasileira é produzida com uma porcentagem de álcool etílico anidro na sua composição na ordem de 13 a 25%, com o intuito de reduzir a poluição atmosférica (MIORANZA, 2015; BRASIL, 2013). A Tabela 1 apresenta a composição da gasolina brasileira.

Tabela 1: Composição da gasolina brasileira.

<b>Ingredientes</b>	<b>Concentração % (m/m)</b>
Hidrocarbonetos saturados	27 – 47
Hidrocarbonetos olefínicos	15 – 47
Hidrocarbonetos aromáticos	26 – 35
Benzeno	< 1
Álcool etílico anidro combustível	13 – 25

Fonte: PETROBRAS (2014).

Quando há um derramamento de gasolina, uma das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que são usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. Por ser pouco solúvel em água, a gasolina derramada, contendo mais de uma centena de componentes, inicialmente estará presente no subsolo como líquido de fase não aquosa (NAPL) (SILVA et al., 2002).

Os componentes de maior solubilidade em água, como benzeno, tolueno e xilenos, são os primeiros contaminantes a atingir o lençol freático. Eles são compostos considerados perigosos por serem depressoras do sistema nervoso central e comprovadamente cancerígenos (COUTINHO; GOMES, 2007).

## 2.3 OS RESÍDUOS INDUSTRIAIS E SEU REAPROVEITAMENTO

Com o crescimento populacional e o aumento do número de indústrias e suas produções, a geração de resíduos também cresce. Esses resíduos gerados devem ser tratados de forma correta, o que muitas vezes não é feito, trazendo consequências nocivas ao meio ambiente (CALDERONI, 2003). A importância do descarte correto de resíduos é sempre debatida, tendo em vista que muitas indústrias não dão a importância devida aos descartes, gerando inúmeros danos a natureza.

A diversidade das atividades industriais ocasiona a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, durante o processo produtivo, os quais podem poluir/contaminar o solo, a água e o ar, sendo necessário observar que nem todas as indústrias geram resíduos com poder impactante nesses três ambientes (FONTENELE et al., 2006).

A geração de resíduos é uma problemática que acompanha o desenvolvimento da humanidade ao longo dos séculos. Os avanços tecnológicos possibilitaram cada vez mais o acesso dos indivíduos a bens de consumo e o aumento deste consumo incentivou o aumento da produção industrial e atrelado a esse aumento, tem como consequência a degradação ambiental (RIBEIRO; MORELLI, 2009)

A questão ambiental tem ganhado mais espaço e importância ao longo dos anos, em razão do aumento dos problemas que a sociedade tem causado ao meio ambiente. Para Neta (2011), o consumo faz parte da história do ser humano no mundo e é através deste que se torna possível satisfazer necessidades vitais da humanidade. Porém, desde que o consumo passou a não apenas servir como meio de sobrevivência, o meio ambiente, passou a sofrer gradativamente com essa mudança.

Os resíduos têm origem de atividades nos diversos setores da indústria, podendo ser representados por cinzas, lodos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros, cerâmicas, entre outros. Tais resíduos tem sua classificação com base na sua periculosidade e solubilidade (BORGES; CONCEIÇÃO, 2006).

Fundamentalmente, os resíduos sólidos industriais podem ser definidos como aqueles oriundos do processo produtivo cujas particularidades tornem

indesejável o seu lançamento no meio ambiente, ou que exijam para isto soluções técnicas e/ou econômicas em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL; 2002).

A atividade industrial e agrícola sempre geram resíduos abundantes, em diversos setores. Um exemplo da indústria agrícola é a casca do arroz, que já tem sido explorada como fonte de energia pela quantidade de resíduo gerado (BARBOSA et al., 2009).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais tem se mostrado, frente ao desperdício de alimentos, uma grande oportunidade de desenvolvimento de subprodutos, como também agregação de valor e utilização sustentável desses resíduos. (COSTA FILHO et al., 2017).

Borges e Conceição (2006) dizem que o conceito de aproveitamento de resíduos industriais se agrega a interdisciplinaridade da questão ambiental, focalizando a necessidade de buscar o desenvolvimento a partir de soluções gerenciais e tecnológicas que atendam à legislação ambiental vigente e que, ao mesmo tempo, sejam compatíveis com o processo de crescimento econômico sustentável.

Com isso, pensou-se no aproveitamento desses resíduos com a utilização de uma operação unitária, a adsorção.

## 2.4 ADSORÇÃO

Os métodos de separação que utilizam a adsorção têm grande atuação na área industrial, principalmente nas refinarias de petróleo e na indústria petroquímica. Adsorção é um fenômeno que acontece em uma superfície, da qual um soluto é removido de uma fase fluida e acumulado na superfície de uma fase sólida. O material que é adsorvido se chama adsorbato e o material do qual o soluto é depositado, se chama adsorvente (RUTHVEN, 1984).

Muitos tratamentos são utilizados para remoção de poluentes das águas contaminadas, dentre eles estão a precipitação química, osmose, troca iônica e adsorção. A adsorção vem sendo um dos melhores métodos de tratamento destes efluentes por possuir várias vantagens como baixo custo, eficiência e simplicidade (BEZERRA et al., 2014).

O processo de adsorção se destaca como uma técnica alternativa com um grande potencial para o tratamento de efluentes, principalmente pelo uso de produtos naturais que podem ser obtidos de subprodutos da indústria e do setor agrícola. Muitos estudos têm comprovado a eficiência destes adsorventes para o tratamento de águas contaminadas por óleo, metais pesados e outras substâncias tóxicas (CURBELO, 2002).

A técnica de adsorção se tornou uma alternativa de grande uso no tratamento de efluentes residuais. Isso acontece principalmente porque os processos de adsorção têm a capacidade de remover cor, odor e sabor no tratamento e purificação de águas, óleos, efluentes de processos, dentre outros setores industriais (CECHINEL, 2013).

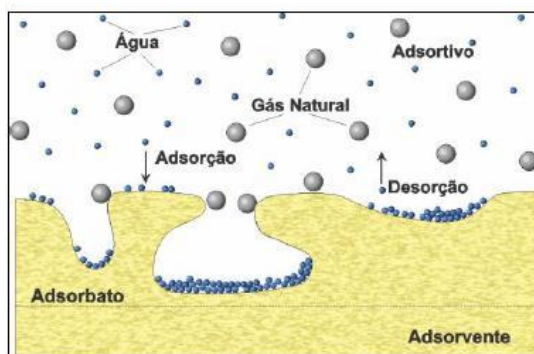
De acordo com o Ruthven (1984) que é considerado o precursor da adsorção, essa operação lida com a transferência de massa, estudando a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes nos fluidos líquidos ou gasosos, viabilizando a separação dos componentes desses fluidos. Quanto maior for a superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção. Por essa razão, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas.

Durante o processo, as moléculas que são encontradas na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas, tais quais ligações de hidrogênio, ligações covalentes, interações dipolo-dipolo, forças de Van der Waals e ligações eletrostáticas (CAMARGO, 2005).

A quantidade total adsorvida normalmente varia entre 5 e 30% do peso do sólido adsorvente e pode atingir na superfície do sólido; quanto maior for esta superfície por unidade de peso, mais favorável será a adsorção (AMORIM, 2016).

Na Figura abaixo são apresentadas as nomenclaturas utilizadas para o fenômeno de adsorção.

Figura 1 - Nomenclatura do fenômeno de adsorção.



Fonte: Nóbrega (2001).

A adsorção é tida como uma alternativa altamente eficaz, no qual há uma interação dos contaminantes com o material adsorvente, reduzindo a cor do efluente. Diversas pesquisas mostram os bons resultados de adsorventes alternativos que derivam de resíduos industriais e/ou biológicos e que atendem ao requisito de baixo valor, possibilitando aplicação nas indústrias (MARIN, 2015).

Como vantagem importante, a adsorção apresenta um baixo consumo de energia, a possibilidade de separar de misturas com azeotropia, sem necessitar o uso de outros componentes para ajudar a separação, entre outras vantagens (FARIAS, 2019).

O mesmo autor relata que uma parte relevante dos processos de separação por adsorção ocorre por adsorção física, envolvendo forças intermoleculares fracas. Já a adsorção química, ou quimiossorção, há a formação de ligações químicas entre a superfície do adsorvente e o composto adsorvido.

Os adsorventes mais utilizados em escala industrial são o carvão ativado, a sílica-gel, a alumina ativada e as peneiras moleculares. Entretanto, biomassas alternativas vêm sendo estudadas devido ao elevado valor de alguns adsorventes (SANTOS et al., 2005)

A poluição preocupa bastante aos seres humanos, o estudo de materiais utilizados na adsorção é cada vez mais significativo, principalmente aqueles que são provenientes de fontes naturais, de baixo custo, fácil obtenção e que não sejam tóxicos (SANTOS, 2017).

## 2.4.1 Tipos de Adsorção

### 2.4.1.1 Adsorção Física

Na adsorção física, também conhecida por fisissorção, as moléculas do adsorvente e do adsorbato interagem por forças de Van der Waals fracas e não formam ligações químicas. É um fenômeno reversível onde as energias liberadas são relativamente baixas e o equilíbrio é atingido rapidamente. Como é um processo reversível, o material adsorvente pode ser recuperado e reutilizado em etapas subsequentes (CAMARA, 2010).

A fisissorção, adsorção física, é reversível onde se observa normalmente a deposição de mais de uma camada de adsorbato sobre a superfície adsorvente. O aumento na concentração de adsorbato na superfície é devido às forças de Van der Waals, ligações fracas, forças não específicas. A adsorção física é fracamente específica, reversível, seu efeito térmico é pequeno. (BURAKOV et al., 2018)

### 2.4.1.2 Adsorção Química

No processo de adsorção química, as moléculas aderem à superfície do adsorvente através da formação de ligações químicas, também conhecida como quimissorção. São ligações de natureza covalente muito forte e nesse processo ocorre efetiva troca de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida, o que gera grande atração entre o adsorvente e adsorbato. Na adsorção química ocorre a formação de uma única camada sobre a superfície sólida, por isso é um processo irreversível, o que impede a reutilização do material (CAMARA, 2010). A Tabela 2 faz o comparativo entre os dois tipos de adsorção, segundo Ruthven (1984).

A quimissorção é uma adsorção química que envolve troca efetiva de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida, ocasionando as seguintes características: formação de uma única camada sobre a superfície sólida, irreversibilidade e liberação de uma quantidade de energia considerável e uma reação química (NASCIMENTO et al., 2014).

Tabela 2: Comparação entre adsorção física e química

<b>Adsorção Física</b>	<b>Adsorção Química</b>
Baixo calor de adsorção	Alto calor de adsorção
Não específica	Altamente específica
Mono e multicamadas	Monocamada
Baixas temperaturas	Grande faixa de temperaturas
Rápida e reversível	Pode ser lenta e irreversível
Sem transferência de elétrons	Transferência de elétrons e formação de ligação química

Fonte: (RUTHVEN, 1984).

#### 2.4.2 Fatores que influenciam o processo de adsorção

A adsorção, como qualquer outro processo, tem diversos fatores que podem influenciar na sua eficácia/eficiência, dentre eles, estão: propriedades do adsorvente, área superficial do adsorvente, temperatura e velocidade de agitação.

##### 2.4.2.1 Propriedades do adsorvente

A natureza físico-química do adsorvente é fator determinante, pois a capacidade e a taxa de adsorção dependem da área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor (DOMINGUES, 2005).

##### 2.4.3.2 Área superficial

A adsorção é um fenômeno de superfície, por isso a extensão da adsorção é proporcional à área superficial específica. A área superficial específica pode ser definida como a porção da área total disponível para adsorção. A quantidade adsorvida por unidade de massa de adsorvente é maior quanto mais finamente estiver dividido o adsorvente e quanto mais poroso for o material.



A influência da área superficial do adsorvente pode ser estudada com a variação do tamanho das partículas e mantendo a mesma massa de adsorvente. De maneira geral, os resultados apontam que a diminuição do diâmetro das partículas proporciona um aumento da adsorção (ADAMSOM et al., 1997).

#### *2.4.3.3 Temperatura*

A temperatura tem grande influência nas relações de equilíbrio, ela afeta a agitação das moléculas do sistema e interfere nas forças de atração e repulsão entre as moléculas na fase fluida e também entre o adsorbato e o adsorvente (SCHIMMEL, 2008).

O aumento da temperatura aumenta a velocidade de difusão das moléculas de soluto como consequência da diminuição da viscosidade da solução. O aumento da temperatura contribui para o aumento na difusão das moléculas na camada periférica externa e nos poros internos das partículas do adsorvente. Dessa forma, uma mudança na temperatura provoca uma alteração na capacidade de adsorção de um adsorvente por um adsorbato (ADAMSOM et al., 1997).

#### *2.4.3.4 Velocidade de agitação*

A velocidade de agitação do sistema solução/adsorvente pode influenciar a adsorção graças à redução da resistência da camada periférica ao redor da partícula do adsorvente. Quando as partículas do adsorvente e as moléculas do adsorbato são agitadas, elas adquirem movimentação na solução, resultando em uma chance ainda maior de ocorrer a adsorção.

## 2.5 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

O processo de adsorção pode ser estudado por meio da cinética, a mesma é expressa pela influência do tempo de contato sobre a quantidade de adsorbato adsorvido da fase fluida, permitindo obter informações como ordem de reação ( $n$ ), constante de velocidade ( $k$ ) e energia de ativação do processo.

Informações que são de extrema relevância para verificação da taxa de adsorção do material adsorvente investigado (RODRIGUES et al., 2019).

Cinética de adsorção é expressa como a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo, envolve a transferência de massa de um ou mais componentes contidos em uma massa líquida externa para o interior da partícula do adsorvente, que deverão migrar através dos macroporos até as regiões mais interiores desta partícula (NASCIMENTO et al., 2014).

A adsorção de um adsorbato por um adsorvente pode ser representada por modelos matemáticos cinéticos que conferem importantes informações relativas ao mecanismo de adsorção. Os modelos cinéticos mais utilizados no emprego da cinética de adsorção são os de pseudo primeira-ordem e pseudo segunda-ordem (CARDOSO, 2010; HONORATO et al., 2015).

O modelo cinético pseudo primeira-ordem, proposto por Lagergren em 1898, é um dos primeiros modelos cinéticos aplicados para taxa de adsorção em fase líquida na superfície de materiais adsorventes sólidos. Esse processo é caracterizado pela adsorção física, ou seja, predomina as interações intermoleculares (RODRIGUES, 2019).

É prioritariamente controlada por difusão externa e não depende da concentração do adsorvato (da SILVA et al., 2018). Ele se ajusta melhor aos dados experimentais no período inicial. Esse modelo pode ser descrito da seguinte pela Equação (1):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (1)$$

Sendo  $q_t$  e  $q_e$  as quantidades do soluto adsorvido no tempo  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e no equilíbrio ( $\text{mg g}^{-1}$ ), respectivamente e  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) é a constante de velocidade de adsorção pseudo primeira-ordem (RODRIGUES, 2019).

O modelo cinético pseudo-segunda ordem (PSO), assim como o de pseudo-primeira ordem, baseia-se na capacidade de adsorção da fase sólida e relata o comportamento do processo em toda a faixa de tempo de contato (AKSU; TEZER, 2000).

Esse modelo baseia-se no pressuposto de que a etapa de limiteação da taxa pode ser a sorção química envolvendo forças de valência através do compartilhamento ou troca de elétrons entre adsorvente e adsorvato (TAN et al., 2015). Esse modelo pode ser descrito da seguinte pela Equação (2):

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

onde,  $k_2$  é a constante da taxa de pseudo-segunda ordem ( $\text{g.mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )

Outros modelos que podem ser citados são o modelo de Weber e Morris e o modelo de difusão de Boyd.

## 2.6 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

O estudo do equilíbrio é um fator importante, pois permite a determinação da capacidade máxima de adsorção experimental em condições controladas como temperatura constante e o efeito da concentração da espécie química na capacidade de adsorção mantendo a massa do adsorvente constante (da SILVA et al., 2018)

A isoterma de adsorção é a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes a uma dada temperatura. Para gases, a concentração é dada em porcentagem molar como uma pressão parcial. Para líquidos, a concentração geralmente é expressa em unidades de massa. A concentração do adsorvido no sólido é dada como massa adsorvida por unidade de massa do adsorvente (RUTHVEN, 1984).

As isotermas de adsorção são modelos termodinâmicos que representam o processo de adsorção em determinada temperatura após um tempo de equilíbrio. Podem ser determinadas a partir de experimentos em que a massa do material adsorvente é agitada em um volume de solução com concentração conhecida em uma determinada temperatura (MOREIRA, 2010).

Em um processo de adsorção, a construção de isotermas é importante para analisar a interação entre o adsorvato e o adsorvente. A forma das isotermas pode fornecer informações qualitativas da natureza das interações sólido/solução. É preciso estabelecer uma correlação apropriada para as curvas de equilíbrio. Uma adequada representação matemática dos dados é fundamental na obtenção de parâmetros termodinâmicos e permite a análise dos processos de adsorção, bem como a comparação de procedimentos de adsorção para diferentes sistemas ou condições (BATISTA, 2014).

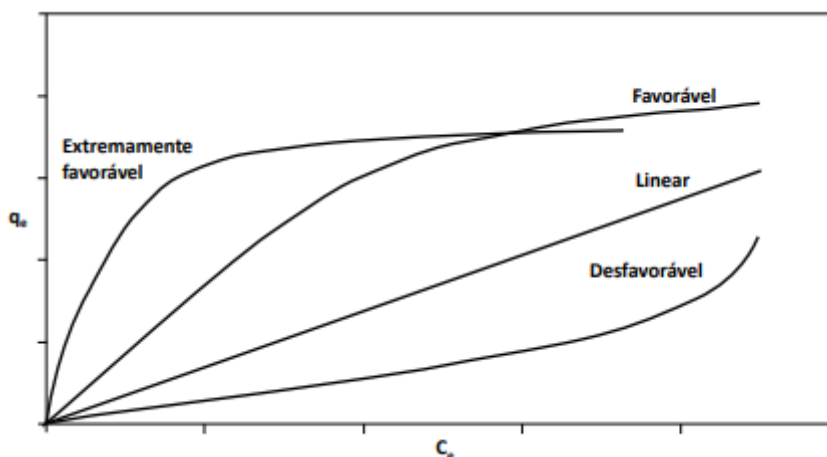
Em uma composição líquida, as isotermas de adsorção se comportam por meio da curva de concentração do soluto na fase sólida, em relação à curva da concentração do soluto na fase fluida, em uma determinada temperatura.

As isotermas têm um papel muito importante no processo de adsorção, elas compõem a fase inicial da parte experimental, estabelecendo qual tipo de biomassa possui o maior potencial para determinado efluente contaminado, tendo em vista que esse potencial pode variar de acordo com o adsorvente e o contaminante (CAVALCANTE, 2018).

De modo geral, as isotermas de adsorção são formadas por uma curva com variáveis constantes como o pH e a temperatura, empregada para avaliar o processo adsorptivo por meio da retenção de uma substância contaminante nos poros da biomassa utilizada. Há vários modelos que podem ser usados para analisar esse potencial, sendo o modelo de Langmuir um dos mais utilizados devido à grande eficiência e alto desempenho (FOO; HAMEED, 2010).

Os gráficos das isotermas de equilíbrio de adsorção podem apresentar várias formas, fornecendo informações importante sobre o mecanismo. A figura 2 tem a representação dessas formas e como elas podem ser classificadas.

Figura 2 – Formas possíveis de isotermas de adsorção.



Fonte: Nascimento et al., 2014.

A isoterma linear indica que a quantidade adsorvida é proporcional a concentração do fluido, não indicando uma capacidade máxima de adsorção. As isotermas côncavas são chamadas favoráveis, por extrair quantidades relativamente altas mesmo em baixos níveis de concentração de adsorvato no fluido, fato muito importante, adsorção em baixa concentração, em traços. As

isotermas convexas são chamadas desfavoráveis devido à sua baixa capacidade de remoção mesmo em altas concentrações. A isoterma é dita irreversível quando a massa adsorvida é constante independente da concentração (NASCIMENTO et al., 2014).

### 2.6.1 Isoterma de Langmuir

A isoterma de Langmuir é caracterizada por possuir números definidos de sítios ativos, nesse caso, a adsorção ocorre em monocamada, às moléculas adsorvidas não interagem entre si e os sítios ativos tem energia equivalente. Estabelecendo um equilíbrio dinâmico da adsorção, onde as velocidades de adsorção e dessorção são iguais (NASCIMENTO et al., 2014).

O modelo matemático foi obtido a partir da idealização de um sólido adsorvente de superfície homogênea podendo ocorrer de forma contínua independente de sua extensão de cobertura. Os sítios ativos do sólido adsorvente acomodam as moléculas de adsorbato em seu interior de forma que não haja interação com as moléculas do adsorbato (CASAGRANDA, 2014).

A isoterma de Langmuir pode ser expressa matematicamente a partir da Equação (3).

$$q_e = \frac{Q_{max}K_L C_{eq}}{1 + K_L C_{eq}} \quad (3)$$

Sendo  $q_e$  a quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio ( $\text{mg g}^{-1}$ );  $q_{max}$  a capacidade máxima de adsorção ( $\text{mg g}^{-1}$ );  $K_L$  a constante de interação adsorbato/adsorvente ( $\text{L mg}^{-1}$ ) e  $C_e$  a concentração do adsorbato no equilíbrio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

### 2.6.2 Isoterma de Freundlich

Essa isoterma leva em conta que as superfícies de adsorventes reais não são uniformes (MOREIRA, 2010). Foi um modelo construído empiricamente de forma que seja um dos modelos mais utilizados, porém este só é válido para as concentrações em que os parâmetros foram ajustados. Para sua construção não foi considerado a saturação dos sítios ativos (CASAGRANDA, 2014).

O modelo proposto por Freundlich faz uma relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução, em um modelo empírico. Sua aplicação ocorre em sistemas não ideais, superfícies heterogêneas e adsorção em multicamadas (RODRIGUES, 2019). A equação de Freundlich é dada pela Equação (4).

$$q_e = K_F \cdot C_{eq}^{1/n_f} \quad (4)$$

Sendo  $Q_e$  a quantidade de soluto adsorvido ( $\text{mg.g}^{-1}$ );  $C_e$  a concentração de equilíbrio em solução ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  $1/n$  a constante relacionada à heterogeneidade da superfície e  $K_F =$  constante de capacidade de adsorção de Freundlich ( $\text{mg}^{-1} \cdot (\text{g}^{-1}) \text{L}^{1/n}$ ).

## 2.7 BIOADSORVENTES

Várias fontes de adsorventes estão sendo investigadas a fim de serem utilizados para tratamento de água. No entanto, alguns dos adsorventes são de difícil desenvolvimento e custo alto, o que inviabiliza sua utilização em grande escala (OLADOJA et al., 2017).

Materiais adsorventes são substâncias sintéticas ou naturais que têm uma superfície interna de poros acessíveis de forma seletiva a uma determinada combinação de moléculas. A natureza física do adsorvente, carga superficial, equilíbrio entre os grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, área superficial e capacidade de adsorção ao longo do processo são propriedades responsáveis pela eficiência da adsorção (FARIAS, 2019).

O carvão ativo é um adsorvente bastante empregado na literatura para adsorção, apresentando características como a elevada área interfacial com a fase fluida. Mesmo sendo um material inerte e resistente mecanicamente, características desejadas em um bom adsorvente o carvão ativo apresenta um custo alto (ALMEIDA; SANTOS, 2020).

A alumina absorve a umidade por aquecimento, obtendo um produto poroso, granular ou em pó, aplicada principalmente na secagem de gases e líquidos (GOMIDE, 1983).

A utilização de resíduos agrícolas como materiais adsorventes permite agregar valor aos resíduos gerados. Dentre eles, pode-se destacar a utilização

de casca de laranja, casca de banana, sementes de ameixa, bagaço da maçã, palha de trigo, serragem, fibra de coco, cana de açúcar e pó de bambu, dentre outros (RAFATULLAH et al., 2010).

A conversão de resíduos agrícolas em bioadsorventes de baixo custo é uma alternativa promissora para sanar problemas ambientais bem como reduzir os custos de preparação dos adsorventes (BHATNAGAR; SILLANPAA, 2010).

## 2.8 BIOMASSA

Biomassa é um termo usado para caracterizar uma série de materiais orgânicos, como os resíduos agrícolas, que podem ser empregadas de forma direta ou indireta para a geração de combustíveis, como etanol, metanol, biogás, carvão vegetal e óleos (SANTOS et al., 2006).

O uso da biomassa vem aumentando ao longo do tempo a fim de se reduzir os custos altos de processos de separação por meio da adsorção. Para Carvalho (2014), a utilização de uma biomassa como adsorvente vem se tornando um excelente método para realizar a adsorção, por ser uma alternativa de fácil obtenção, de baixo custo e se mostrar eficaz no tratamento de diversos tipos de efluentes que estejam poluídos.

Para que um adsorvente seja qualificado como "de baixo custo", requer que sua natureza seja abundante e fácil obtenção, ou seja, um resíduo de uma indústria, necessitando de pouco processo para ser utilizado. Materiais naturais ou determinados resíduos de operação industrial/agrícola são fontes de adsorventes com baixo custo, pois estes materiais são facilmente disponíveis em grandes quantidades. Logo, são baratos e têm pouco valor econômico (COELHO et al., 2014).

Os materiais adsorventes têm vantagens significativas para remoção de contaminantes, pois possuem grande superfície de contato, permitindo a remoção dos contaminantes. São materiais de fácil fabricação em larga escala e econômicos, que podem ser reutilizados e não poluem o ambiente, principalmente se fabricados de fontes renováveis (AMORIM, 2019).

Segundo a mesma autora, no tratamento por adsorção, os materiais adsorventes são atraentes para limpeza de derramamento de óleo por causa da possibilidade de remoção completa do óleo (que inclui produtos orgânicos

insolúveis em água) da superfície da água, enquanto trazem nenhum efeito adverso ao meio ambiente.

É primordial avaliar a abundância do resíduo que será escolhido. Não seria viável a utilização de um material alternativo escasso (ALSINA et al., 2007). Nos últimos anos, foram feitas diversas abordagens para desenvolvimentos de biomassas mais baratas e eficazes a partir resíduos agrícolas, como podem ser citadas estudos com o bagaço de cana (HOMAGAI, et al., 2010), cascas de tangerina (BATISTA, 2014) casca de batata (ALFREDO, 2015), casca de abacaxi (RODRIGUES, 2019), bagaço de malte (AMORIM, 2018), resíduo de acerola (SOUZA, 2018), casca de banana (ALMEIDA; SANTOS, 2020) entre vários outros resíduos orgânicos.

O efeito das biomassas vem sendo estudado no tratamento de efluentes contendo compostos orgânicos, como é o caso dos efluentes contaminados com derivados do petróleo (LIMA et al., 2010).

Souza et al. (2018) utilizaram biomassa do resíduo da acerola como bioadsorvente para remoção de gasolina em corpos aquáticos, onde os resultados na cinética de adsorção descreveram que o resíduo adsorveu entre 45 e 80% do total do seu contaminante, em um determinado tempo. Serão apresentados artigos envolvendo biomateriais para verificar a eficiência no uso desse material para retirar contaminante orgânico.

### **3 METODOLOGIA**

Para obtenção dos dados necessários, foi realizado um estudo exploratório, utilizando levantamentos de dados bibliográficos oriundos de base de dados nacionais e internacionais. Foram explorados trabalhos científicos, dentre eles artigos, dissertações e teses, como também sites, o Periódicos da Capes, e a revista Research, Society and Development.

Os trabalhos analisados foram publicados entre os anos de 2017 e 2020 e tiveram como foco a avaliação da adsorção de gasolina presente em água com o uso biomassas sustentáveis oriundas do setor agrícola.

#### **3.1. ARTIGO 1 - BIOMASSA BAGAÇO DE MALTE**



Avaliação da Viabilidade do Bagaço de Cerveja para Remoção de Contaminante Gasolina Presentes em Corpos Aquáticos Utilizando Sistema de Adsorção em Leito Diferencial. AMORIM, F. V., SOUZA, E. S., SILVA, V. L. M. de M., LUIZ, M. R. 12° Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Gramado – RS, 2018.

Amorim et al. (2018) fizeram o uso do bagaço do malte para remoção de gasolina em corpos aquáticos fazendo o uso do sistema de adsorção em leito diferencial.

A biomassa utilizada para avaliar o processo adsorptivo foi o bagaço de cerveja com granulometria de 1,00 a 2,38 mm, secas em estufa com circulação de ar a 60°C. Estudou-se cinética e isoterma de adsorção.

No estudo da cinética de adsorção, usaram-se 12 amostras com concentrações 8,6; 12 e 15,4 mL de gasolina para 40 mL de água.

Para analisar a isoterma de equilíbrio foram usadas 10 concentrações diferentes de água com a gasolina, variando de 5 a 50% de gasolina, no total de 52 mL de solução água/gasolina. A agitação foi constante por 60 minutos. Foi realizada uma modelagem matemática para representar os dados experimentais.

Utilizou-se para simular um ambiente real, o chamado leito diferencial, que nada mais é que um reservatório de vidro de 4000 mL com uma tela de alumínio acoplada ao reservatório. O processo foi feito em triplicata com concentrações diferentes.

Na primeira etapa do leito diferencial, uma fina camada de biomassa de 3 mm foi uniformizada na tela de alumínio. Foi depositado no reservatório as misturas água/gasolina, obtendo uma fina camada de sobrenadante. Logo após, a tela de alumínio foi acoplada ao reservatório, com tempo de contato de 120 minutos, após decorrido o tempo, retirou a tela, fazendo a medição quantitativa do volume restante de contaminante com uma proveta graduada.

### 3.2. ARTIGO 2 - BIOMASSA BAGAÇO DE ACEROLA

Avaliação Da Viabilidade Do Resíduo De Acerola Para Remoção De Contaminante Gasolina Presentes Em Corpos D'água. SOUZA, E. S., AMORIM, F. V., SILVA, V. L. M. M., LUIZ, M. R., SOUZA, E. S. 12° Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Gramado – RS, 2018.

Souza et al. (2018) usaram como bioadsorvente o resíduo da acerola e como adsorvato foi usado a gasolina comum.

A biomassa utilizada para avaliar o processo adsorptivo foi o bagaço de acerola com granulometria de 1,00 a 2,38 mm, secas em estufa com circulação de ar a 60°C. Estudou-se cinética e isoterma de adsorção com a mesma configuração do artigo 1.

### 3.3. ARTIGO 3 - BIOMASSA VAGEM DE FEIJÃO

Avaliação do Poder Adsorptivo da Vagem do Feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.) em Corpos d'água Contaminados com Gasolina, Utilizando a Técnica de Adsorção. LIMA, L. M. R., SILVA, J. L. B. C., CAVALCANTE. L. E., SILVA, E. D. A. F. I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e III de Diversidade do Semiárido, Campina Grande – PB, 2019.

Lima et al. (2019) utilizaram a biomassa vagem de feijão como uma alternativa sustentável para adsorção de gasolina em corpos d'água contaminados. A biomassa utilizada para avaliar o processo adsorptivo foi vagem de feijão, com exposição a céu aberto para que a água do material evaporasse totalmente. A vagem passou por trituração em moinho de facas e foi submetido a peneiramento até a granulometria de 1mm. Estudou-se cinética e isoterma de adsorção com a mesma configuração do artigo 1 e 2.

### 3.4. ARTIGO 4 - BIOMASSA CASCA DE BANANA

Ensino do Laboratório de Engenharia Química Baseado em Projeto: Adsorção de Gasolina Empregando Casca de Banana. ALMEIDA, N. P., SANTOS, K. G. Research, Society and Development, v. 9, n. 3, 2020.

Almeida e Santos (2020) utilizaram a casca de banana como adsorvente para adsorção de gasolina para solucionar um problema de derramamento de gasolina ocorrido em Bogotá, Colômbia. Foi construído um protótipo de coluna de adsorção em leito fixo para os experimentos. Foram estudadas a isoterma de equilíbrio, a cinética e a dinâmica de adsorção do adsorvente de leito fixo em temperatura ambiente.

As cascas de bananas foram secas em estufa a 90°C por 24 horas, trituradas manualmente e peneiras até obter diâmetro média de 1,01mm.

Na isoterma de adsorção foram usados béqueres sob agitação constante à temperatura de 25°C por 24h. Seis soluções com diferentes concentrações de gasolinas foram feitas em volume fixo de 100 mL, foi fixada 4g do adsorvente. Ao fim dos testes, as amostras foram filtradas com peneira doméstica comum e aferido em provetas o volume da solução final.

Na etapa de cinética de adsorção, os experimentos foram realizados em béqueres de 250 mL com agitação constante à 25°C. A concentração usada foi de 0,30 v/v e uma quantidade fixa de 10 g do adsorvente. Retirou-se 5 alíquotas em intervalos de tempos determinados.

A adsorção foi realizada em leito fixo construído com garrafa PET de 55 mm de diâmetro e 20 cm de altura com mangueiras de silicone na entrada e saída. O fluxo adotado foi no sentido ascendente, que fluiu através do leito de partículas até a parte superior da coluna, a partir de uma bomba de circulação. O leito fixo foi empacotado com 200g de casca de banana, sendo alimentado com 0,25 mL de solução gasolina a uma vazão de 50 mL/min, e foram recolhidas no topo do leito diversas amostras, em diferentes intervalos de tempo. Essas amostras foram analisadas em provetas de 10 mL.

### 3.5. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 5 – BIOMASSA PALMA FORRAGEIRA

Avaliação do Poder Adsorativo da Palma Forrageira (*Opuntia Ficus Indica* L. Mill) para Uso na Remoção de Gasolina Comum em Corpos D'água. SILVA, J. L. B. C. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) ao curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, da Universidade Federal de Campina Grande, 2017.

Silva (2017) em seu experimento, utilizaram como adsorvente a palma forrageira na forma particulada a fim de remover por adsorção a gasolina. A palma foi coletada em plantio próprio na Universidade Federal de Campina Grande, retirou-se a casca do material, expondo a palma ao ar e sol por três dias, para que todo o líquido fosse evaporado, sendo retirado durante a noite. Após secar, o procedimento foi o mesmo do artigo 1 e 2.

### 3.6. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 6 – BIOMASSA SISAL

Remoção de Gasolina em Corpos D'Água Utilizando Sisal (*Agave sisalana*) como Adsorvente em Sistema de Adsorção em Leito Diferencial. OLIVEIRA, E. D. C. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) ao curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

Oliveira (2017) estudou a biomassa Sisal do gênero *Agave* como adsorvente para separação de contaminante pelo processo de adsorção. O contaminante estudado foi gasolina tipo C.

A preparação do sisal consistiu em expor a biomassa na forma de pó ao sol para reduzir a umidade existente, a fim de evitar a decomposição por ação biológica. Em seguida, foi feita uma preparação para obtenção do particulado com granulometria homogênea, a biomassa foi triturada em triturador industrial e peneirada em peneiras com aberturas de 1,00 a 2,38mm. O sisal passou por uma análise físico-química para quantificar algumas propriedades físicas e químicas. Após secar, o procedimento foi o mesmo do artigo 1 e 2.

No sistema de leito diferencial, foi adicionado 4000 mL da mistura água/gasolina a um recipiente retangular, depois foi acrescentado sisal particulado a tela de alumínio, sendo formado um leito com camada de espessura igual a 3 mm. A tela de alumínio foi colocada de modo que a biomassa entrasse em contato direto com a mistura água/gasolina, e permaneceu assim por tempos preestabelecidos variando de 5 a 120 minutos. Por fim, a tela de alumínio foi retirada para separar a fase líquida da biomassa, sendo essa separação realizada por meio de funil, sendo possível mensurar a quantidade de gasolina adsorvida.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ARTIGO 1 - BIOMASSA BAGAÇO DE MALTE

Na cinética de adsorção pôde-se observar que a adsorção da gasolina foi rápida e de aproximadamente 4, 5 e 6 mL de gasolina retirados da solução por cada grama de biomassa. Segundo Amorim (2018) os desvios encontrados nas quantidades podem ter acontecido devido à manipulação da biomassa. Não foi realizado comparativos com dados da literatura nem ajustes a modelos matemáticos.

Na isoterma de equilíbrio, a biomassa se ajustou bem ao modelo de Langmuir, apresentando um coeficiente de correlação  $R^2 = 0,94$ , se aproximando de 1,00. A capacidade máxima adsorvida foi de aproximadamente 8,0 mL/g, a cada 1g de biomassa tem-se 8,0mL de gasolina. Foi feita uma comparação com o modelo de Langmuir e a capacidade máxima de adsorção foi de 10,1 mL/g, mostrando que os dados experimentais estão ajustados ao modelo.

No sistema de leito diferencial, ao fim do tempo de contato foi possível perceber um volume de gasolina menor do que o inicial, mostrando que a biomassa tem uma boa adsorção. Para as diferentes concentrações utilizadas nesse sistema, foi observado que a biomassa ao fim dos 120 minutos teve uma quase total adsorção do contaminante.

Na concentração de 5% com volume inicial de 0,2L de gasolina e 3,8L de água a adsorção foi quase total aos 30 minutos, removendo 99,2%. Para a concentração de 7,5%, com volume de 0,3L de gasolina e 3,7L de água, a adsorção quase total foi aos 120 minutos, com 98,5% de remoção do contaminante. Na concentração de 10,0%, com volume 0,4L de gasolina e 3,6L de água, a adsorção se apresentou baixa no início do processo, devido a maior quantidade de contaminante, e aos 120 minutos adsorveu 98,75%

Não se tem referencial teórico a cerca desse estudo com o resíduo estudado, sendo esse artigo um referencial para futuros trabalhos.

#### 4.2. ARTIGO 2 - BIOMASSA BAGAÇO DE ACEROLA

Observou-se no estudo cinético que o resíduo da acerola apresentou uma cinética rápida e a quantidade de gasolina adsorvida pelo resíduo de acerola foram aproximadamente 7 mL, 9 mL e 10 mL para as soluções de 8,6 mL, 12,0 mL e 15,6 mL.

Em comparação com o bagaço do malte, o resíduo de acerola se mostrou com resultados melhores, conseguindo adsorver mais contaminante para as mesmas concentrações da mistura água/gasolina.

Para a isoterma de equilíbrio, é verificado quantos mL de gasolina foram retirados por cada g de biomassa, em função da concentração final de cada adsorbato no fluido. O resultado obtido para capacidade máxima adsorvida do resíduo foi de aproximadamente 11,4 mL/g, a cada 1g de biomassa tem-se 11,4 mL de gasolina. As isotermas correspondem ao tipo I da classificação de BET (RUTHVEN, 1984), e as do estudo de Morais (2005) que são válidas no caso do bagaço de cana-de-açúcar e mesocarpo de coco.

#### 4.3. ARTIGO 3 - BIOMASSA VAGEM DE FEIJÃO

No estudo da cinética de adsorção foi possível verificar que a biomassa conseguiu adsorver gasolina nos primeiros minutos de contato, com maior adsorção entre 5 e 15 minutos, no valor máximo de adsorção de 3,85 g.g<sup>-1</sup>. Valores próximos de adsorção foram observados a partir de 20 minutos, e a adsorção foi menos eficiente no tempo de 55 minutos. Sendo assim, a adsorção é mais eficiente no início do processo, havendo variações ao longo do tempo. O procedimento foi tido como satisfatório, sendo reduzida a concentração de poluente na solução de acordo com a literatura (LIMA et al. 2018).

Na curva de equilíbrio construída com os resultados, variando as concentrações de 5 a 60%, pode-se observar que a capacidade máxima de adsorção da biomassa foi de 6,34 g.g<sup>-1</sup>. Comparando com os resultados de Cavalcante (2018), que obteve capacidade máxima de 7,04 g.g<sup>-1</sup>, é possível considerar que a vagem de feijão é uma biomassa eficiente para remoção de gasolina em corpos d'água.

#### 4.4. ARTIGO 4 - BIOMASSA CASCA DE BANANA

Na cinética de adsorção, a partir dos dados obtidos foi observado que o equilíbrio foi atingindo rapidamente, por volta de 22 minutos para a concentração inicial de 0,3mL de gasolina/solução. Esse fato viabiliza o processo em uma escala industrial. Seguiu-se o modelo de pseudo-segunda ordem, apresentando um melhor coeficiente de correlação  $R^2 = 0,9347$ , assumindo que a velocidade de adsorção é diretamente proporcional ao quadrado de sítios disponíveis.

Na isoterma de adsorção, a remoção da gasolina foi maior em concentrações mais baixas, atingindo 100% de remoção para 0,05 v/v. em uma concentração mais alta de 0,3 v/v, a remoção foi de 77,28%. Essa análise permite concluir que quanto maior a concentração inicial da gasolina, mais fácil será observada a adsorção. Esse fato pode ser explicado pela relação entre os sítios ativos do adsorvente e adsorbato ser maior, fazendo com que a saturação ocorra mais lentamente. No ajuste das isotermas, o modelo de Sips foi o que apresentou maior coeficiente de correlação no ajuste e um menor desvio em relação aos dados experimentais. A capacidade máxima encontrada através da isoterma de Sips, foi de 9,53 mL de gasolina/g de biomassa. A isoterma de Sips se ajustou bem no processo, como encontrado por Jorge et al. (2015) no estudo da adsorção de corante em bagaço de cana.

No leito fixo, a capacidade máxima de adsorção foi de 1,91g de gasolina/g de adsorvente. Sendo assim, os 200g de adsorvente usados no leito fixo seriam suficientes para adsorver 382g de gasolina, equivalente a 516 mL.

#### 4.5. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 5 – BIOMASSA PALMA FORRAGEIRA

Na cinética de adsorção, a taxa de adsorção foi rápida, com valores próximos aos primeiros 20 minutos de contato da biomassa com a gasolina. Os melhores resultados obtidos foram após 20 minutos de contato, e passando mais tempo, a capacidade adsorptiva da biomassa foi verificada como tendo o melhor resultado no tempo de 30 minutos. Silva et al. (2017), comparou com Martins (2015) o uso da biomassa palma forrageira e concluiu que a eficiência na

capacidade adsorptiva da palma forrageira sem casca é melhor com relação a palma com casca.

No estudo das isotermas de equilíbrio, indica que a capacidade máxima de adsorção foi de  $5,94 \text{ g.g}^{-1}$ , e em comparação com Martins (2015), que obteve capacidade máxima de  $5,44 \text{ g.g}^{-1}$ , pôde-se notar que houve um aumento na capacidade da biomassa sem casca.

#### 4.6. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 6 – BIOMASSA SISAL

Os resultados obtidos evidenciaram que a cinética foi muito rápida, tendo início nos primeiros 4 minutos, e a quantidade média de gasolina adsorvida foi de 5,5; 3,5 e 4,0 mL por grama de biomassa para as proporções 7 (8,4 mL de gasolina por 1,2g de biomassa), 10 (15,6 mL de gasolina por 1,2g de biomassa) e 13 (15,6 mL de gasolina por 1,2g de biomassa).

Em comparação com os estudos de Lima et al. (2014), utilizando a biomassa mandacaru como adsorvente, a cinética se apresentou rápida também tendo início nos primeiros 5 minutos. O sisal comparado a outras biomassas tem bons resultados como um bioadsorvente.

Na isoterma, foi observado que a quantidade máxima de contaminante adsorvido foi 7,5 mL por g de biomassa. A curva foi ajustada pelo modelo de Langmuir. Estudos feitos por Lima et al. (2014) mostram que o estudo da isoterma com a biomassa mandacaru, apresentam tendência a forma côncava, mostrando que são favoráveis ao processo de adsorção, possibilitando uma alta capacidade de remoção de gasolina.

O estudo da adsorção no sistema de leito diferencial, para 5% de gasolina (200 mL), nos primeiros 2 minutos mostrou uma capacidade adsorptiva boa para o pouco tempo de contato, aos 6 minutos teve um aumento significativo e aos 10 minutos a capacidade atingiu 100% de remoção da gasolina presente no corpo d'água.

No experimento usando 7,5% de gasolina (300 mL), não foram verificados resultados tão significativos quanto para 5%. Aos 30 minutos já se percebeu uma estagnação no desempenho do sisal.



Comparado ao bagaço de malte (AMORIM, 2016), que teve uma boa adsorção para as concentrações diferentes, com uma média de 98%, o sisal se mostrou menos eficiente no sistema de leito diferencial.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim das análises dos artigos e trabalhos de conclusão de curso, pôde-se perceber que o uso da biomassa é uma boa opção como um adsorvente alternativo para a remoção de contaminante gasolina em água, levando em conta seus custos e preparo em comparação aos adquiridos no mercado, como as resinas, argilas e o carvão ativado.

Para analisar as cinéticas de adsorção pode-se verificar que as biomassas se mostraram rápidas aos primeiros minutos, havendo variações ao longo do tempo os experimentos. As duas biomassas mais rápidas foram a vagem de feijão, que aos 5 minutos já mostrou um valor máximo de 3,85 (g.g<sup>-1</sup>) e o sisal aos 4 minutos com valor médio de 5,5; 3,5 e 4 mL/g. As demais biomassas se mantiveram com ótimos resultados, o bagaço de malte teve resultados de 4, 5 e 6 mL/g, o resíduo de acerola se mostrou um pouco à frente do malte, usando as mesmas concentrações da mistura água/gasolina, com resultados de 7, 9 e 10 mL/g e a vagem de feijão se mostrou menos eficiente aos 55 minutos e teve uma adsorção de 3,85 g/g.

Nas isotermas de equilíbrio, com variações nas concentrações dos experimentos, as biomassas tiveram suas capacidades máximas de adsorção, sendo o bagaço de acerola a que adsorveu mais, com 11,4 mL/g, seguido pelo bagaço de malte que teve uma capacidade máxima de adsorção de 8 mL/g e o sisal que adsorveu 7,5 mL/g de biomassa.

Nos dois artigos em que se usou o sistema de leito diferencial foi possível notar que ao fim do tempo de contato, havia um volume de gasolina menor do que o inicial. No caso do bagaço de malte, nas diferentes concentrações utilizadas, teve uma média de 98,8% de remoção do contaminante presente no leito, já o sisal se mostrou menos eficiente comparado ao bagaço de malte, pois para os mesmos 3mm de biomassa utilizados, o sisal teve pontos em que houve uma estagnação em seu desempenho.

O cenário de desperdício de alimentos não é uma realidade apenas nacional. A incorporação da biomassa sendo considerada como um rejeito a algum processo é uma alternativa que deve ser melhor estudada a fim de minimizar os impactos causados pela destinação inadequada desses resíduos.

Os seis tipos de biomassas estudados se mostraram com capacidades adsorptivas satisfatórias nos experimentos realizados. Algumas tiveram desempenhos melhores que as outras, mas isso pode ter relação com a manipulação, preparação e uso de técnicas e a diferença do tipo de espaços vazios para adsorver o material.

Por fim, pôde-se concluir que o uso da biomassa com resíduos sustentáveis é uma alternativa viável, pois seu processo vem de resíduos de baixo ou nenhum custo econômico, e é eficiente, de acordo com os resultados obtidos pelos métodos utilizados nos trabalhos citados. Sendo assim, uma forma de reduzir impactos ambientais causado pela gasolina e fazer um reaproveitamento sustentável, eficiente e econômico.

## REFERÊNCIAS

- AKSU, Z., TEZER, S. **Equilibrium and Kinetic Modelling of Biosorption of Remazol Black B by Rhizopus arrhizus in a batch System: Effect of Temperature.** Process Biochemistry, v. 36, p. 431-439, 2000.
- ALFREDO, A. P. C. **Adsorção de azul de metileno em casca de batata utilizando sistema em batelada e coluna de leito fixo.** Rev. Virtual Quim. Vol. 7, n. 6, 2015.
- ALMEIDA, N. P., SANTOS, K. G. **Ensino do Laboratório de Engenharia Química baseado em projeto: adsorção de gasolina empregando casca de banana.** Research, Society and Development, v. 9, n. 3, e184932716, 2020.
- ALSINA, L. S., SILVA, F. L. H., SANTOS, E. G. **Desempenho de biomassas na adsorção de hidrocarbonetos leves em efluentes aquosos.** Quim. Nova, Vol. 30, n. 2, 327-331, 2007.
- AMORIM, F. V., **Biocompósitos de poliuretano a base de óleo de mamona (ricinus communis) contendo resíduos agroindustriais para adsorção de compostos orgânicos.** Dissertação de obtenção do título de mestre em Ciência de Materiais, pela Universidade Federal de Pernambuco, 2019.
- AMORIM, F. V., SOUZA, E. S., SILVA, V. L. M. de M., LUIZ, M. R. **Avaliação da viabilidade do bagaço de cerveja para remoção de contaminante gasolina presentes em corpos aquáticos utilizando sistema de adsorção em leito diferencial,** 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Gramado, RS, 2018.
- AMORIM, F.V., **Estudo do poder adsorptivo do resíduo gerado na produção de cerveja utilizando sistema em leito diferencial.** TCC de conclusão do curso de química industrial, 2016.
- BARBOSA, C. A. S., GALEMBECK, F., SOUSA, R. A. **Aproveitamento sustentável de biomassa e de recursos naturais na inovação química,** Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 571-581, 2009.
- BATISTA, T. S. **Estudo de adsorção de metais pesados de efluentes utilizando a casca da tangerina como biomassa adsorvente.** Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

BEZERRA, A. T. C.; GAMA, M. S.; AGUIAR, J. E.; SILVA JR., I. J. **Adsorção multicomponente de corantes reativos empregando quitosana/alginato epoxilada como adsorvente**. X Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Guarujá, São Paulo, 2014.

BHATNAGAR, A., SILLANPAA, M. **Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment**. Chemical Engineering Journal 157 (2010) 277–296.

BORGES, M. S., CONCEIÇÃO, R. D. **Tecnologia Ambiental aplicada ao Gerenciamento e Processamento de resíduos industriais no Estado do Paraná**. Economia & Tecnologia - Ano 02, Vol. 05 – Abr/Jun. de 2006.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 21.2.2013 - DOU 22.2.2013.

BRASIL, RESOLUÇÃO CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental**. Publicada no D.O.U. de 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL, RESOLUÇÃO CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. Publicada no D.O.U. de 22 de novembro de 2002.

BURAKOV, A. E., GALUNIN, E. V., BURAKOVA, I. V., KUCHEROVA, A. E., AGARWAL, S., TKACHEV, A. G., GUPTA, V. K. **Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review**. Ecotoxicology and Environmental Safety 148 (2018) 702–712

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas Editora, 2003. 345p.

CAMARA, J. G. A. **Avaliação cinética e de equilíbrio de um processo de remoção por adsorção de benzeno e tolueno de águas residuárias de refinarias de petróleo**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

CAMARGO, M. **Adsorção em carvão ativado e outros materiais**. Monografia da instituição, PUC Rio – 2005.

CARDOSO, N.F., **Remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos utilizando cascas de pinhão in natura e carbonizada como adsorvente**. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CARVALHO, E. S. **Reuso do mesocarpo de coco na remoção de contaminantes derivados de petróleo presentes em corpos d'água utilizando sistema de adsorção em leito diferencial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

CASAGRANDA, L., **Remoção de corante vermelho reativo 4B, utilizando como adsorvente palha de milho**. Trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CAVALCANTE, L. E. **Aplicação da adsorção utilizando casca da palma forrageira (opuntia fícus) como adsorvente na descontaminação de corpos d'água e da técnica de biopilhas para o solo, contaminados com gasolina**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba, 2018.

CECHINEL A. P., M. **Aplicação de processo adsortivo na remoção de chumbo de efluentes petroquímicos sintéticos**. Mestrado (Dissertação), Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

COELHO, G. F., GONÇALVES, A. F., SOUSA, R. F. B., SCHWANTES, D., MIOLA, A. J. e DOMINGUES, V. R. **Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em água**. Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v.3, n. especial, p.291-317, 2014.

COSTA FILHO, D. V.; SILVA, A. J.; SILVA, P. A. P.; SOUSA, F. C. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de**

**subprodutos.** II Congresso Internacional Das Ciências Agrárias, cointer-PDVAgro, 2017.

COSTA, E. C., BARBOSA, C. D. A. E. S., MACHADO, J. A., GARCIA, C. A. B. **Estudo comparativo de adsorção do corante preto *sulphcolor* utilizando o carvão ativo convencional com o bagaço de cana-de-açúcar in natura e tratada quimicamente.** Scientia Plena, v. 6, n. 12, 2010.

COUTINHO, R. C. P., GOMES, C. C. **Técnicas para remediação de aquíferos contaminados por vazamentos de derivados de petróleo em postos de combustíveis.** Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.

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

DANTAS, F. B. **Investigando os riscos de contaminação de vias hídricas pela indústria do petróleo.** Monografia de graduação do curso de Geociências da Universidade Estadual da Paraíba, 2015.

DOMINGUES, V. M. F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas. 2005.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005.

FARIA, R. A; SOARES, R. B; RODRIGUES, C. G. **Avaliação do emprego de casca de eucalipto na biossorção de hidrocarbonetos leves de petróleo contaminante em corpos hídricos simulados.** Revista Matéria, 2018.

FARIAS, R. H. B. **Uso da casca de arroz tratada para adsorção de óleos lubrificantes,** Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais na Universidade Federal de Pelotas, 2019.

FONTENELE, S. B., GUIMARÃES, J. L. S., SABIÁ, R. J. **Legislação ambiental versus tecnologia limpa: uma reflexão junto ao setor industrial do Triângulo Crajubar – CE,** 2006.

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. **Insights into the modeling of adsorption isotherm systems**. Chemical Engineering Journal, v. 156, p. 2-10, 1 jan. 2010.

Geankoplis, C. J. **Transport processes and separation process principles: (includes unit operations)**. 4th ed. New Jersey, 2010.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias: adsorção**. São Paulo: Edição própria do autor, 1983.

HOMAGAI, P.L.; GHIMIRE, K.N.; INOUE, K. **Adsorption behavior of heavy metals onto chemically modified sugarcane bagasse**. Bioresour. Technol. v.101, p.2067–2069, 2010.

HONORATO, A.C., MACHADO, J.M., CELANTE, G., BORGES, W.G.P., DRAGUNSKI, D.C., CAETANO, J., **Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais**, 2015.

Jorge, I. R., TAVARES, F. P., SANTOS, K. G. **Remoção do corante azul de metileno no tratamento de efluentes por adsorção em bagaço de cana de açúcar**, p. 491-500. Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP, São Paulo: Blucher, 2015.

JÚNIOR, J. J., PASQUALETTO, A. **Contaminação ambiental movida por postos retalhistas de combustíveis**. Universidade Católica de Goiás. Goiás, 2008.

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 (*cereu jamacaru*) como biomassa adsorvente de gasolina presente em corpos d'água**. 10º encontro brasileiro sobre adsorção, CD-Rom, Guarujá, SP, 2014.

LIMA, L. M. R., SILVA, J. L. B. C. da, CAVALCANTE, L. E., SILVA, E. D. A. F. da; LIMA, L. M. R. L., **Avaliação do poder adsorativo da palma forrageira (*Opuntia tuna mill*) sem casca para uso na remoção de gasolina comum em corpos d'água**. III Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis e V Workshop de Engenharia de Petróleo, Salvador-BA, 2018.

LIMA, L. M. R., SILVA, J. L. B. C., CAVALCANTE. L. E., SILVA, E. D. A. F. **Avaliação do poder adsorativo da vagem do feijão (*phaseolus vulgaris l.*) em**



**corpos d'água contaminados com gasolina, utilizando a técnica de adsorção, 2019.**

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

LIMA, L. M. R.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, V. L. M. M. **Avaliação da Ampliação de Escala na Adsorção de Gasolina em Leito Fixo com Biomassa Bagaço de Cana-de-açúcar,** 2010.

MARIN, S. L. A. **Remoção dos corantes têxteis CI Reactive Blue 203 e CI Reactive Red 195 mediante o uso de bagaço de maçã como adsorvente.** 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

MARTINHO, H. M. G., **Petróleo no ambiente marinho e os impactos ambientais e socioeconômicos.** Atas de Saúde Ambiental (São Paulo, online), ISSN: 2357-7614 – Vol. 4, JAN-DEZ, 2016, p. 190-205.

MARTINS, C. R., JESUS JUNIOR, L. A., **“Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010”**, Documentos Embrapa, v. 164, p. 32, 2011.

MARTINS, S. S. S., SILVA, M. P., AZEVEDO, M. O., e SILVA, V. P. **Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações.** HOLOS, Ano 31, Vol. 6., 2015.

MILLIOLI, V. S. **Avaliação da potencialidade da utilização de surfactantes na biorremediação de solo contaminado com hidrocarbonetos de petróleo.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009.

MIORANZA, D. T. **Remoção de gasolina sintética de corpos hídricos utilizando carvão ativado como adsorvente,** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2015.

MORAIS, V. L. M. **Purificação de efluentes contaminados com hidrocarbonetos por adsorção em leito fixo de biomassa.** Teses (doutorado em química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2005.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NASCIMENTO, R. F., LIMA, A. C. A., VIDAL, C. B., MELO, D. Q., RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza: imprensa universitária, 2014.

NETA, A. S. J. **MEIO AMBIENTE E GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS: estudo sobre o consumo sustentável a partir da lei 12.305/2010,** 2001.

NÓBREGA, G. A. S. **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção,** Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Processos e Processo de Separação, Natal/RN, Brasil, 2001.

OLADOJA, N. A.; UNUABONAH, E. I.; AMUDA, O. S.; KOLAWOLE, O. M. **Progress and prospects of polysaccharide composites as adsorbents for water and wastewater treatment.** In: OLADOJA, N. A.; UNUABONAH, E. I.; AMUDA, O. S.; KOLAWOLE, O. M. Springer Briefs in Molecular Science, cap. 4, p. 65-90. Berlim: Springer, 2017.

OLIVEIRA, E. D. C. **Remoção de gasolina em corpos d'água utilizando sisal (*agave sisalana*) como adsorvente em sistema de adsorção em leito diferencial.** TCC de conclusão do curso de química industrial, UEPB, 2017.

OLIVEIRA, F. F. A. **O Projeto de Monitoramento Ambiental na Etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil: Um Estudo de Caso na Bacia de Campos, Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

PETROBRAS, **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ**, 2014.

PETROBRAS. **Mercado brasileiro é destaque de palestra no IBEF**, 2011.

RAFATULLAH, M., SULAIMAN, O., HASHIM, R., AHMAD, A. **Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review**. Journal of Hazardous Materials, Amsterdam, v. 177, n. 1/3, p. 70-80, May 2010.

RIBEIRO, D. V., MORELLI, M. R. **Resíduos Sólidos: problema ou oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

RODRIGUES, K., OLIVEIRA, P. C. C., MOREIRA, I. C. Q., FIRMINO, S. F. G., WANDERLEY, C. R. P., ARAUJO, R. S., MARINHO, G. **Remoção de BTEX por fungos em reator aeróbico de escoamento contínuo**. Eng Sanit Ambient | v.22 n.4, jul/ago 2017, 809-820.

RODRIGUES, L. V. S., **Avaliação do potencial bioissorvente da biomassa de cascas de abacaxi para remoção de agroquímico em matrizes aquosas**. TCC de conclusão do curso de licenciatura em química, IFG, 2019.

RUTHVEN, M D. M., **Principles of adsorption and adsorption process**, John Wiley & Sons, New York, 1984.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental - Conceitos e Métodos**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, A. C.; SILVA, S. R.; SILVA, J. T.; ZANTA, C. L. P. S. **Tratamento de água produzida de petróleo através da tecnologia eletroquímica**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em petróleo e gás. Salvador, 2005.

SANTOS, V. S. **Emprego do alginato na adsorção de corantes industriais**. TCC de conclusão do curso de Química, Universidade Federal de São João del-Rei, 2017.

SCHIMMEL, Daiana. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2008.

SILVA, A. B. B., ANDRADE, R. M. F., FREIRE, F. B., NAGALLI, A., CARVALHO, K. Q., PASSIG, F. H., KREUTZ, C. **Análise da utilização de cerâmica vermelha**

**como adsorvente na remoção do corante têxtil *Direct Blue* de uma solução aquosa.** Revista Matéria, v. 22, n. 3, 2017.

SILVA, J. L. B. C. **Avaliação do poder adsorptivo da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) para uso na remoção de gasolina comum em corpos d'água.** TCC de conclusão do curso de engenharia de biotecnologia e bioprocessos, UFCG, 2017.

SILVA, J. M. C. **Petróleo e gás na bacia de campos (RJ): Percepção dos impactos ambientais pela população.** Dissertação do mestrado em Ecologia pela universidade federal do Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, R. L. B., BARRA, C. M., MONTEIRO, T. C. N., BRILHANTE, O. M. **Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18(6):1599-1607, novembro, 2002.

SOUZA, E. S., AMORIM, F. V., SILVA, V. L. M. M., LUIZ, M. R., SOUZA, E. S. **Avaliação da viabilidade do resíduo de acerola para remoção de contaminante gasolina presente em corpos d'água.** 12º Encontro brasileiro sobre adsorção, 2018.

SWICK, D. et al. **Gasoline risk management: A compendium of regulations, standards, and industry practices.** Regulatory Toxicology and Pharmacology, v. 70, n. 2, p. S80-S92, 2014.

TAN, Z., ZHUANG, Q. **Arctic lakes are continuous methane sources to the atmosphere under warming conditions.** Environ. Res. Lett. 10 (2015) 054016.

VAUGHAN, T., SEO, W. C., MARSHAL e WAYNE. **Removal of selected metal ions from aqueous solution using modified corncobs.** Bioresource Technology, v. 78, p. 133-139. 2001.