



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

HELOIZA WITÓRIA DE SOUSA AGUIAR

**ESTUDO DO RESÍDUO SÓLIDO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA COMO BIOMASSA
PARA ADSORÇÃO DE GASOLINA**

**CAMPINA GRANDE
2019**

HELOIZA WITÓRIA DE SOUSA AGUIAR

**ESTUDO DO RESÍDUO SÓLIDO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA COMO BIOMASSA
PARA ADSORÇÃO DE GASOLINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Orientador: Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Morais Silva

**CAMPINA GRANDE
2019**

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.

A282e Aguiar, Heloiza Witória de Sousa.
Estudo do resíduo sólido da indústria moveleira como biomassa para adsorção de gasolina [manuscrito] / Heloiza Witoria de Sousa Aguiar. - 2019.
31 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.
"Orientação : Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva , Departamento de Química - CCT."
1. MDF. 2. Combustível. 3. Adsorção. 4. Adsorbato. I.
Título
21. ed. CDD 660.284 235

HELOIZA WITÓRIA DE SOUSA AGUIAR

ESTUDO DO RESÍDUO SÓLIDO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA COMO BIOMASSA
PARA ADSORÇÃO DE GASOLINA

Trabalho de Conclusão de Curso em
Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel
em Química Industrial.

Área de concentração: Meio Ambiente.

Aprovada em: 06 / 12 / 2019.

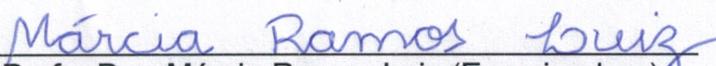
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (DQ/UEPB)



Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima (Examinadora)
Universidade Estadual da Paraíba (DESA/UEPB)



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

A Deus, por ter mantido minha fé sempre forte, nunca me deixado desistir, e a minha Mãe por todo incentivo, cuidado e ajuda, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus por nunca ter me deixado fraquejar, por estar sempre me fortalecendo nos momentos difíceis, me guiando nos caminhos certos e me mostrando que tudo é possível à quem n'Ele crê e a Virgem Maria por estar sempre passando a frente e intercedendo por mim ao Pai.

À minha Mãe, Maria do Socorro, eterna gratidão, por nunca ter medido esforços para me ver realizada, por sempre estar ao meu lado, ter me apoiado em minhas escolhas e sempre ter sido minha fonte de inspiração diária, por todo amor e toda confiança depositada em mim.

Aos meus avós maternos Terezinha (*in memoriam*) e Joaquim (*in memoriam*), embora fisicamente ausentes nesta reta final, sentia a presença de vocês ao meu lado, dando-me força, vocês que sempre foram minha base.

Ao meu irmão Hugo, por todo carinho e afeto, essa conquista também é para você.

A minha Tia Fátima, meu primo Léo e sua esposa Gislayne, por todo acolhimento em sua casa.

Ao meu namorado Mateus, por ter me compreendido nos momentos de ausência, estresse, sensibilidade, por toda paciência, amor e carinho e por estar ao meu lado me apoiando e me aconselhando sempre.

A Larissa Kelley, pela palavra amiga, por muitos momentos de desabafos e conselhos e a sua Mãe (Lindaci) pelo acolhimento diversas vezes em sua casa.

Aos "FORTES" (Larissa, Willian, Vitória e Vanessa) por todos os momentos de descontração e principalmente por me levarem para mais próximo de Deus.

A minha Tia Amanda, por ter sempre acreditado em mim.

Aos meus colegas da graduação, Bruno (duplinha), Mayara, Sayonara, Vitor, Germana e Higor, por todos os conhecimentos compartilhados, momentos de descontração, incentivo e apoio.

A professora Lígia Maria Ribeiro Lima, por tudo que fez por mim durante a graduação e por ter me proporcionado vivenciar a experiência de uma pesquisadora, sendo uma mãe acadêmica com tanta dedicação.

A professora Vera Lúcia Meira de Moraes Silva por ter sido uma orientadora super dedicada, atenciosa e por todo conhecimento transmitido.

A professora Márcia Ramos Luiz, por todos os conhecimentos compartilhados, ensinamentos e conselhos que vão além da sala de aula e que levarei para o resto da vida e por aceitar participar da banca de avaliação.

Aos meus amigos de infância Luanna e Danrley, por todos os conhecimentos compartilhados durante nossos estudos para o Enem e que embora distantes nossa amizade permanece.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização desse sonho.

“Nada te perturbe; nada te amedronte;
tudo passa. A paciência tudo alcança...
Quem a Deus tem, mesmo que passe por
momentos difíceis; Sendo Deus o seu
tesouro; Nada lhe falta. SÓ DEUS
BASTA!”

- Santa Tereza D'Ávila

RESUMO

Os impactos ambientais vêm se alastrando por consequência da atividade humana na natureza afetando o planeta de várias formas, causando estragos irreparáveis. Nos corpos hídricos quando se trata de contaminação com óleo combustível esse impacto é ainda maior, pois o combustível em contato com a água forma uma camada sobrenadante, impedindo a troca de oxigênio com o meio, ocasionando assim a morte dos seres que ali habitam. O objetivo desse trabalho foi avaliar a capacidade adsorptiva de resíduo sólido da indústria moveleira (MDF) para a remoção de gasolina em efluentes aquáticos por meio das análises das curvas cinéticas de adsorção e de isoterma de equilíbrio para o sistema água/gasolina/MDF. O desenvolvimento desse trabalho deu-se pela preparação da biomassa e pela avaliação da interação do contaminante com o material adsorvente. Para tal, houve a obtenção experimental das curvas cinéticas e isoterma de equilíbrio. Os resultados obtidos no estudo da cinética e do equilíbrio em adsorção utilizando o MDF como bioadsorvente da gasolina, mostrou que a biomassa estudada pode ser usada como bioadsorvente para a purificação de efluentes contaminados por gasolina, uma vez que as curvas cinéticas forneceram valores satisfatórios de adsorção, entre 5 e aproximadamente 9 mL por grama de biomassa dependendo da concentração de adsorbato utilizada e a isoterma de adsorção obtida, apresentou curva que sugere ser do tipo II segundo classificação de BET, no qual o adsorbato corresponde a característica de adsorção em múltiplas camadas sobrepostas.

Palavras-Chave: MDF. Combustível. Adsorção.

ABSTRACT

Environmental impacts are spreading as a result of human activity in nature affecting the planet in many ways, causing irreparable damage. In water bodies when it comes to contamination with fuel oil this impact is even greater, because the fuel in contact with water forms a supernatant layer, preventing the exchange of oxygen with the environment, thus causing the death of the beings who live there. The objective of this work was to evaluate the adsorptive capacity of solid waste from the furniture industry (MDF) for the removal of gasoline in aquatic effluents by analyzing the adsorption kinetic curves and the equilibrium isotherm for the water / gasoline / MDF system. The development of this work took place by the preparation of biomass and the evaluation of the interaction of the contaminant with the adsorbent material. For this, the kinetic and equilibrium curves were obtained experimentally. The results obtained from the study of adsorption kinetics and equilibrium using MDF as gasoline bioadsorbent showed that the studied biomass can be used as bioadsorbent for the purification of gasoline contaminated effluents, since the kinetic curves provides satisfactory adsorption values, between 5 and approximately 9 mL per gram of biomass depending on the concentration of adsorbate used and the adsorption isotherm obtained, presented a curve that suggests to be type II according to BET classification, in which the adsorbate corresponds to the adsorption characteristic in multiple overlapping layers.

Keywords: MDF. Fuel. Adsorption.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Plataforma de extração de petróleo.....	14
Figura 2 –	Classificação das isotermas de BET.....	17
Figura 3 –	MDF.....	18
Figura 4 –	Rejeito na forma de pó.....	18
Figura 5 –	Peneiras série <i>Tyler</i>	21
Figura 6 –	Mesa agitadora com frascos de <i>Erlenmeyer</i>	22
Figura 7 –	Análise volumétrica do contaminante gasolina	22
Figura 8 –	Análise volumétrica da contaminante gasolina para a isoterma de quilíbrio.....	23
Figura 9 –	Curva cinética para adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF. Razão gasolina/biomassa igual a 7.....	24
Figura10 –	Curva cinética para adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF. Razão gasolina/biomassa igual a 10.....	25
Figura11 –	Curvas cinéticas para adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF. Razão gasolina/biomassa igual a 13.....	25
Figura12 –	Isoterma de adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF.....	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	13
2.1	Contaminação de corpos aquáticos	13
2.2	Impactos ambientais causados por derivados do petróleo	13
2.3	Adsorção	14
2.3.1	Mecanismo de adsorção	14
2.3.2	Tipos de adsorção	15
2.3.3	Fatores que influenciam a adsorção	15
2.3.4	Cinética de adsorção	16
2.3	Equilíbrio de adsorção	16
2.4	Adsorbato	17
2.5	Biomassa	18
2.5.1	A serragem como biomassa adsorvente	19
3	MATERIAIS E METODOLOGIA	20
3.1	Matéria-prima	20
3.1.1	Biomassa	20
3.1.2	Adsorbato gasolina	20
3.2	Metodologia	20
3.2.1	Preparação do resíduo sólido	20
3.2.2	Cinética de adsorção	21
3.2.3	Equilíbrio de adsorção	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.2	CINÉTICA DE ADSORÇÃO	24
4.3	ISOTERMA DE ADSORÇÃO	26
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a água é um bem não renovável, todavia, o progresso das cidades e indústrias têm elevado ao uso extremo, e, mais além, a contaminação de corpos aquáticos tanto superficiais quanto subterrâneos. Agrotóxicos usados na agricultura, efluentes, dos mais diversos gerados pelas indústrias, esgotos domésticos, efluentes contaminados com óleos combustíveis, derrames de óleo em plataformas de petróleo são apenas alguns exemplos dos diversos tipos de contaminação que chegam até os corpos d'água.

A contaminação dos corpos aquáticos especialmente com óleos combustíveis, é significativamente danosa ao meio ambiente, criando uma camada que impede as trocas entre a água e o oxigênio do ar fazendo com que as espécies aquáticas fiquem sem oxigenação e acabem morrendo, gerando assim desequilíbrio ambiental e conseqüentemente, danos além da contaminação local. Por ser menos densa que a água, a gasolina se espalha muito facilmente, dificultando sua retirada do corpo aquático utilizando apenas barreiras de contenção. (SILVA, 2019).

Diante dessa problemática, o processo de adsorção tem se mostrado uma alternativa com resultados satisfatórios, onde um fluido entra em contato com um sólido adsorvente, na superfície do qual, moléculas do fluido são retidas, proporcionando assim a separação de compostos ou purificação do fluido.

Diversas adsorventes obtidos a partir de biomassas têm sido estudadas no Brasil para a realização do processo de adsorção visando baixo custo e eficiência no processo para a purificação de águas contaminadas com diversos tipos de contaminantes, dentre eles os óleos combustíveis como a gasolina e óleo diesel (MORAIS, 2005) com resultados promissores, como exemplo: o bagaço de cana-de-açúcar (BRANDÃO 2010, SILVA et al., 2011), o mesocarpo de coco (SANTOS et al., 2007), sisal (LIMA et al. 2016), algas arribadas (MEDEIROS, 2017), Palma Forrageira (LIMA et al.,2018) e tantos outros.

Objetivando ampliar a gama de biomassas para adsorção de gasolina presente em corpos aquáticos e entendendo a necessidade de acrescentar valor a um resíduo abundante e pouco utilizável, o presente trabalho tem a finalidade de estudar o poder adsorvente de resíduos da indústria moveleira frente a gasolina, óleo combustível presente em diversos corpos d'água.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo geral*

Avaliar a capacidade adsorptiva de resíduo sólido da indústria moveleira Fibras de Média Densidade – MDF (Medium Density Fiberboard) para a remoção de gasolina em efluentes aquáticos.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Preparar a biomassa deixando em granulometria homogênea.
- Obter as curvas cinéticas de adsorção.
- Obter isotermas de adsorção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contaminação de corpos aquáticos

A biota aquática está constantemente exposta a um grande número de substâncias tóxicas lançadas no ambiente, proveniente de diversas fontes de emissão. A descarga de lixos tóxicos oriundas de efluentes industriais, os processos de drenagem agrícola, os derrames acidentais de resíduos químicos e os esgotos domésticos lançados em rios e mares contribuem para a contaminação dos ecossistemas aquáticos com uma ampla gama de agentes tóxicos como metais pesados, agrotóxicos, compostos orgânicos, entre outros (ARIAS et al., 2007).

Apesar dos ecossistemas aquáticos apresentarem uma série de mecanismos físicos, químicos e biológicos, para a assimilação de substâncias tóxicas, quando estas atingem níveis acima da capacidade assimilativa do meio receptor, afetam a sobrevivência, o crescimento e a reprodução dos organismos que ali vivem, degradando a qualidade do meio aquático. Assim, tornam-se obrigatórias ações voltadas para diminuir a poluição causada pelo homem. Dentre essas ações estão o uso racional dos recursos naturais, o tratamento de efluentes, desenvolvimento de tecnologias para a recuperação de corpos hídricos contaminados (COELHO, 2006).

Nas áreas portuárias e de remanso seria necessário um monitoramento constante dos corpos aquáticos urbanos sendo realizado pelos órgãos públicos responsáveis, com campanhas educativas para os riscos de doenças, enquanto melhoras efetivas não são implantadas. Normas para a adequação das embarcações já estão sendo adotadas. A ONU ao decretar o período de 2005-2015 como a Década da Água e 2003 como Ano Internacional da Água, o Estatuto das Cidades, a Agenda 21, e a Lei de Recursos Hídricos fornecem diretrizes e base legal para que políticas públicas sejam implementadas. (CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D. 2005.)

2.2 Impactos ambientais causados por derivados do petróleo

A respeito de sua ampla utilidade, o uso e a exploração do petróleo podem ocasionar inúmeras catástrofes ambientais, principalmente em caso de vazamento no meio ambiente. Em virtude de grande parte das plataformas de extração de

petróleo (FIGURA 1) estar localizada em alto mar, os impactos ambientais causados pelo petróleo podem tomar proporções avassaladoras.

Figura 1- Plataforma de extração de petróleo



Fonte: diariodepernambuco.com.br

2.3 Adsorção

Atualmente a adsorção é reconhecida como um fenômeno fundamental em muitos processos físicos, biológicos e químicos que ocorrem na natureza.

Esse fenômeno é conhecido desde o século XVIII. Em 1773, C. W. Scheele certificou que substâncias porosas apresentam a propriedade de adsorverem vapores (McKay, 1996 e Weber, 1972). Com fundamento nesses estudos começaram a ser realizados em sistemas constituídos de sólidos e gases, e logo em seguida Lowitz verificou o mesmo fenômeno em soluções (WEBER, 1972).

A adsorção é uma operação de transferência de massa, em que estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar em sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, proporcionando a separação dos componentes desses fluidos. (RUTHVEN, 1984).

2.3.1 Mecanismo de adsorção

Os processos de separação por adsorção estão fundamentados em três mecanismos distintos: o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. Para o mecanismo estérico, os poros do material adsorvente possuem dimensões características, as quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais. Para os mecanismos de equilíbrio, têm-se as

habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorbatos, que são adsorvidos, preferencialmente, a outros compostos. O mecanismo cinético está baseado nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes (DO, 1998).

2.3.2 Tipos de adsorção

Na adsorção o processo pode ser classificado como adsorção química e adsorção física, dependendo assim da natureza das forças superficiais. A posição dos grupos funcionais sobre a superfície do adsorvente determina o tipo de interação que ocorre entre adsorbato/adsorvente e, portanto, define se o processo é de adsorção física ou química (HO; MCKAY, 1999).

A adsorção química envolve a troca ou partilha de elétrons entre as moléculas do adsorbato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química e, todavia, bem mais forte que no caso da adsorção física (NASCIMENTO et al., 2014).

A adsorção física ocorre quando se tem uma diferença de energia e/ou forças de atração, ou seja, quando as forças de atração entre o adsorbato e o adsorvente são maiores do que as forças atrativas do próprio fluido, essa atração é dada por forças de Van der Waals, as qual tornam as moléculas fisicamente presas ao adsorvente, porém sem formar ligações químicas. (RUTHVEN, 1984).

2.3.3 Fatores que influenciam a adsorção

O processo de adsorção pode ser influenciado por vários fatores, resultados da combinação entre os tipos de forças envolvidas na adsorção física e química. São eles: A área superficial do adsorvente que determina a eficiência de adsorção; propriedades do adsorvente e do adsorbato, temperatura do sistema; temperatura e potencial hidrogeniônico (pH) do meio; natureza do solvente; solubilidade do soluto pois o mesmo impede a atração para a superfície do adsorvente. Segundo Carvalho, (2014) grupos polares tem alta afinidade com a água, podendo assim diminuir a adsorção a partir de soluções aquosas, e a velocidade de agitação condição muito importante, uma vez que os melhores resultados são alcançados quando tem-se uma dispersão homogênea de partículas, pois diminui a espessura da camada limite aumentando assim a taxa de transferência de massa. (LUZ, 2012)

Além disso, o diâmetro molecular do adsorbato afeta também a adsorção. Compostos com diâmetros moleculares menores possui mais facilidade em propagar-se para o interior do sólido e em consequência a adsorção é maior (FOUST, 1980)

2.3.4 Cinética de adsorção

As avaliações do processo de adsorção em condições estáticas se completam com estudos da cinética de adsorção para estabelecer a resistência à transferência de massa e o coeficiente efetivo da difusão. (FERNANDES, 2005)

Os modelos cinéticos abrangem a relação da concentração do adsorbato com o tempo de agitação. A concentração do adsorbato em solução diminui com o tempo, até atingir um valor constante, neste ponto, a quantidade do adsorbato que está sendo adsorvida pelo adsorvente encontra-se em equilíbrio dinâmico com a quantidade que está se desorvendo. O tempo preciso para alcançar este estágio é chamado de tempo de equilíbrio e a quantidade do adsorbato retido neste tempo retrata a capacidade de adsorção no equilíbrio em condições de operação estabelecidas (BRUNO, 2008; DABROWSKI, 2001).

Deste modo, pelo estudo cinético, é possível obter o tempo de residência requerido para que a adsorção se complete (HO, 2004).

2.3.5 Equilíbrio de adsorção

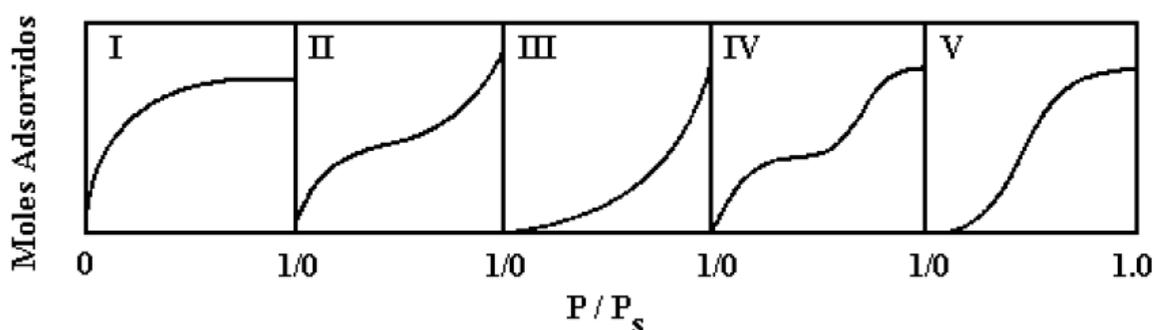
Os dados de equilíbrio no processo de adsorção é uma etapa indispensável no estudo. Esses dados são obtidos através das isotermas de adsorção, as quais avaliam a capacidade de diferentes biomassas em adsorver uma determinada molécula.

Por meio das isotermas de adsorção, pode ser expressa a quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa do adsorvente. Geralmente, a quantidade de material adsorvido para a massa unitária de adsorvente aumenta com o aumento de concentração, embora não diretamente pois, o procedimento experimental é feito de modo o qual põe-se em contato a solução, contendo o componente a ser adsorvido em diferentes concentrações, com a massa do adsorvente até atingir o equilíbrio, assim, durante esse processo, ocorre a distribuição do soluto entre as duas fases, e

a adsorção pode ser medida em função da concentração e da natureza do soluto e da solução, como função da concentração de soluto remanescente na solução de equilíbrio. (OLIVEIRA, 2010).

Brunauer, Emmett e Teller, (BET) em 1938, classificaram as isotermas de equilíbrio em cinco tipos, conforme ilustração contida na Figura 2.

Figura 2 - Classificação das isotermas de BET.



Fonte: Ruthven (1984).

Isotermas do tipo I: São características de sólidos microporosos com superfícies externas relativamente pequenas. A quantidade adsorvida tende a um limite; Isotermas dos tipos II e III: A quantidade adsorvida tende a um valor infinito, correspondendo à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, e ocorre em sólidos não porosos ou macroporosos. Isotermas dos tipos IV e V: São obtidas para sólidos que apresentam mesoporos nos quais ocorre o fenômeno de condensação capilar, ou seja, o gás se condensa no interior dos mesoporos, o que não acontece se o adsorbato for líquido (RUTHVEN, 1984).

Junto com o estudo da cinética, a determinação experimental das isotermas, é a etapa inicial do processo de adsorção para avaliação de um novo sistema adsorbato/adsorvente, sendo essencial na determinação da quantidade total de adsorvente necessária ao processo de adsorção e dimensionamento dos equipamentos a serem utilizados em um posterior estudo utilizando coluna de leito fixo ou diferencial.

2.4 Adsorbato

Adsorbato é o nome dado a parte da fase fluida que será adsorvida no sistema. Em um caso específico para este trabalho, o adsorbato é o contaminante presente em um corpo aquático, sendo ele orgânico ou inorgânico.

A gasolina automotiva é uma mistura de hidrocarbonetos contendo desde 4 até 12 átomos de carbono, com pontos de ebulição entre 30°C e 225°C. Além disso, é um líquido inflamável, volátil, obtido por meio de processos de destilação direta, craqueamento, reforma, alquilação e isomerização. (LUZ 2004)

2.5 Biomassa

Nos últimos anos, no Brasil, estão sendo estudadas biomassas obtidas de plantas originárias da região Nordeste, tais como bagaço-de-cana de açúcar, mandacaru (LIMA, 2010; LIMA et al., 2014; SILVA et al., 2014), mucilagem de sisal (LIMA et al., 2016) e palha de milho na forma de pó (LIMA et al., 2018). Na Figura 3 estão representados blocos em MDF que é uma madeira bastante utilizada na fabricação de móveis, e todo o seu rejeito na forma de pó (Figura 4) vira resíduo.

Figura 3 – Blocos em MDF



Fonte: portuguese.alibaba.com

Figura 4 – Rejeito na forma de pó



Fonte: Própria (2019)

O painel de madeira reconstituída, Madeira de Média Densidade (Medium Density Fiberboard) - MDF, é produzido por aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e aditivos por meio da ação conjunta de pressão e calor durante a prensagem. (FERREIRA, 2010).

Com o objetivo de reaproveitamento desse rejeito foi proposto nesse trabalho desenvolver o estudo do poder adsorvente do MDF diante dos resultados obtidos por LUNARDI, 2014; SILVA, 2015; e os anteriormente citados.

2.5.1 A serragem como bioadsorvente

A serragem pode ser considerada como um adsorvente não iônico de matriz orgânica, pois não apresenta carga superficial e sendo originada da madeira, é composta por celulose, polioses e lignina, que apresentam em sua estrutura caráter orgânico. (SILVA, A. T. 2005)

3 MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Matéria – prima

3.1.1 Biomassa

A biomassa estudada como adsorvente na técnica de separação de contaminante por adsorção foi o resíduo da indústria moveleira – MDF. A biomassa foi obtida na forma de partículas (pó), adquirido em uma das indústrias moveleiras de Campina Grande - PB

3.1.2 Adsorbato gasolina

O adsorbato estudado como contaminante simulando um efluente sintético foi à gasolina tipo C, derivada do petróleo, possuindo características orgânicas oriundas de uma combinação complexa de hidrocarbonetos que tem afinidade com o adsorvente a ser utilizado, obtida em um posto localizado na cidade de Campina Grande, no Estado da Paraíba.

3.2 Metodologia

3.2.1 Preparação do resíduo sólido

A serragem utilizada foi inicialmente classificada utilizando um conjunto de peneiras série *Tyler* 10 e 14 *mesh* com aberturas 1,18 e 1,70 mm, respectivamente, acopladas a uma mesa vibratória com velocidade de 100 rpm, de maneira a se obter um material uniforme, apresentada na Figura 5. O material classificado foi acondicionado em frasco com tampa a temperatura ambiente para utilização nos experimentos de cinética e equilíbrio de adsorção.

Figura 5 - Peneiras série Tyler

Fonte: Própria (2019)

3.2.2 Cinética de adsorção

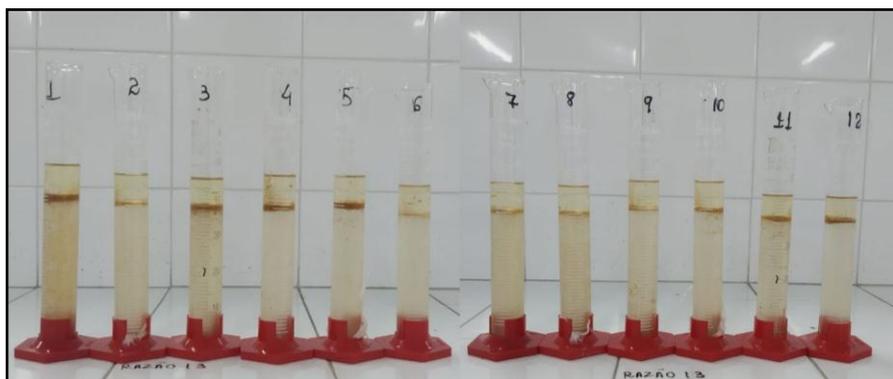
No estudo da cinética de adsorção foram utilizadas três razões de proporção adsorbato/adsorvente: Razão igual a 7, 10 e 13. Para a razão igual a 7, utilizou-se um sistema de 43,6 mL de água; 8,4 mL do adsorbato gasolina e 1,2 g de adsorvente MDF (resíduo sólido da indústria moveleira). Para a razão 10; 40 mL de água; 12 mL de adsorbato e 1,2 g de adsorvente e para a razão 13, foi de 36,4 mL de água; 15,6 mL de adsorbato e 1,2 g de adsorvente. Inicialmente a biomassa MDF foi pesada em uma balança analítica. Para cada curva, foram organizados 12 frascos *erlenmeyer* e em cada um deles foram adicionados a água e postos na mesa agitadora com velocidade de agitação equivalente a 130 rpm.

Com o auxílio de uma pipeta, a gasolina foi adicionada à água nos frascos de *erlenmeyer* destinados ao estudo da cinética, mantendo um intervalo de 2 minutos entre um frasco e outro, e cada um permaneceu em agitação por 5 minutos antes de a biomassa ser adicionada, conforme Figura 6.

Figura 6 – Mesa agitadora com frascos de *Erlenmeyer*

Fonte: Própria 2019

Após 5 minutos foi adicionada a biomassa MDF em cada *erlenmeyer*, com o auxílio de um funil de plástico, com tempos crescentes de 5 a 60 minutos; com o cuidado de mantê-los isolados do contato com o ambiente fechando-os com papel alumínio. Assim que o tempo de agitação de cada *erlenmeyer* chegou ao fim, os mesmos foram retirados da mesa agitadora e a mistura heterogênea água/gasolina/MDF foi transferida para uma peneira com suporte de funil de vidro, separando a biomassa da fase líquida para que fosse possível fazer a análise volumétrica do contaminante gasolina adsorvido pela biomassa MDF, em uma proveta de 50 mL, apresentado na Figura 7. Todos os experimentos foram realizados em triplicata.

Figura 7 – Análise volumétrica do contaminante gasolina

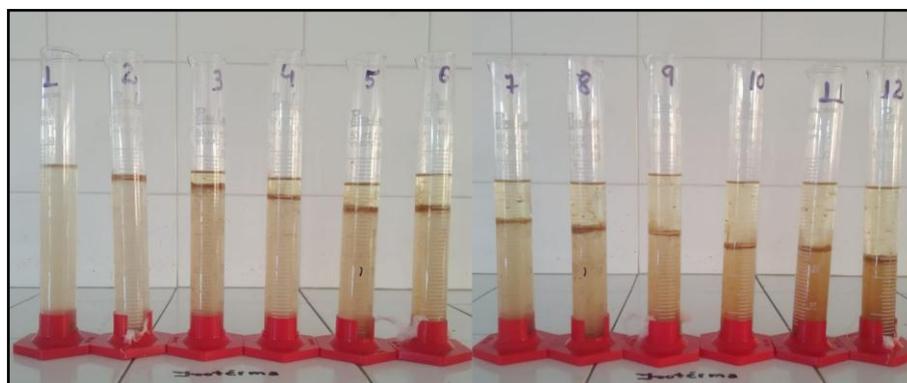
Fonte: Própria (2019)

3.2.3 Isoterma de equilíbrio

Nos ensaios de obtenção das isotermas de adsorção para o sistema água/gasolina/MDF foi utilizada a mesa agitadora, na qual foram colocados 12 frascos *erlenmeyer* contendo quantidades de água definidas com base na concentração de gasolina adequada para o sistema. Com o auxílio de uma pipeta foi colocada gasolina nos frascos *erlenmeyer*, com concentrações iniciais variando de 5 a 60%, lembrando-se de manter um intervalo de 2 minutos de um frasco para o outro, pois cada um permaneceu em agitação por 5 minutos antes da adição da biomassa MDF.

Após 5 minutos em cada *erlenmeyer* foi adicionada 1,2 gramas da biomassa MDF, com o auxílio de um funil de plástico; com o cuidado de mantê-los fechados com papel alumínio. Os frascos *erlenmeyer* permaneceram 60 minutos sob agitação, na mesa agitadora, com velocidade equivalente a 130 rpm. Assim que o tempo de agitação de todo o sistema chegou ao fim, cada *erlenmeyer* foi retirado da mesa agitadora e a mistura heterogênea contida em cada um foi transferida para uma peneira com suporte de funil de vidro, separando a biomassa da fase líquida para que fosse possível fazer a análise volumétrica do contaminante adsorvido pela biomassa, em uma proveta de 50 mL, conforme Figura 8. Os experimentos foram realizados em triplicata.

Figura 8 – Análise volumétrica do contaminante gasolina para a isoterma de equilíbrio.



Fonte: Própria (2019)

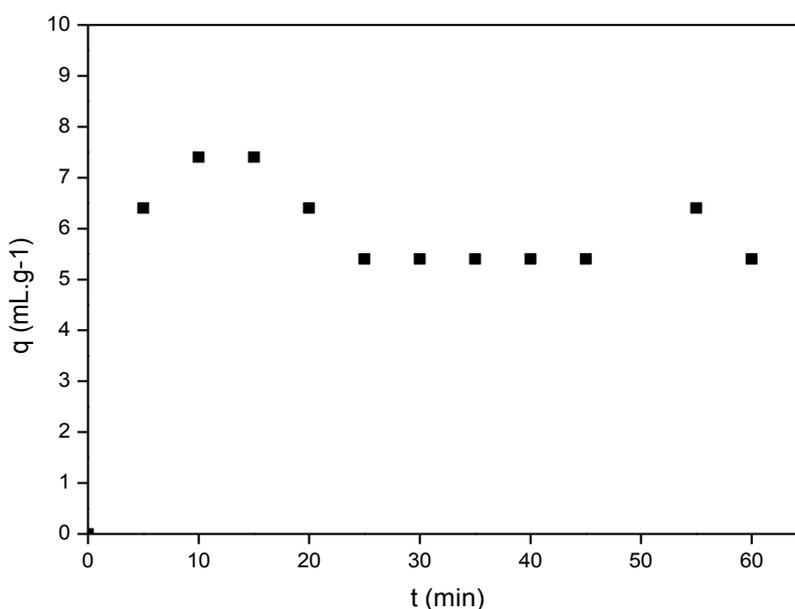
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Para se ter o conhecimento da afinidade adsortiva entre o contaminante gasolina presente no corpo aquático sintético e a biomassa MDF, realizou-se experimentos para três razões, com proporções adsorbato/adsorvente iguais a 7 sendo esta contendo 8,4 mL de gasolina por 1,2 g de biomassa; razão 10 com 12 mL de gasolina por 1,2 g de biomassa e a razão 13 contendo 15,4 mL de gasolina por 1,2 g de biomassa. Mantendo-se o volume total da dispersão água/gasolina igual a 52 mL.

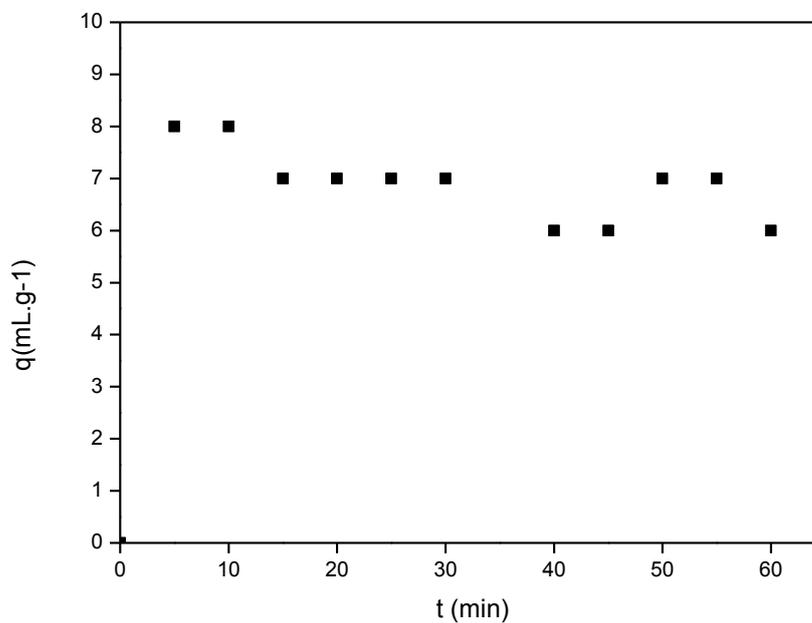
Nas figuras 9, 10 e 11 estão representadas as curvas para cinética de adsorção de gasolina dispersa em água, utilizando MDF como bioadsorvente. Para as razões gasolina/biomassa iguais a 7, 10 e 13, respectivamente.

Figura 9 – Curvas cinéticas para adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF. Razão gasolina/biomassa igual a 7.



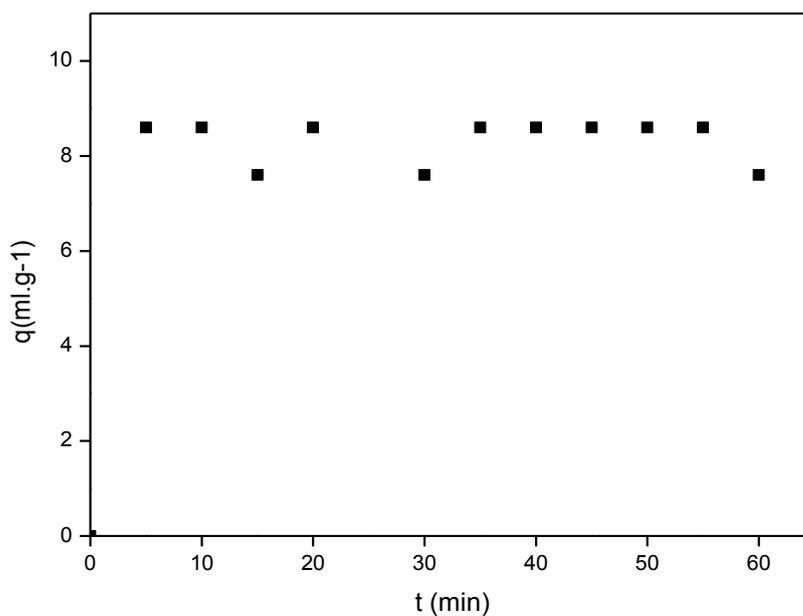
Fonte: Própria (2019)

Figura 10 – Curvas cinéticas para adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF. Razão gasolina/biomassa igual a 10.



Fonte: Própria (2019)

Figura 11 – Curvas cinéticas para adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF. Razão gasolina/biomassa igual a 13.



Fonte: Própria (2019)

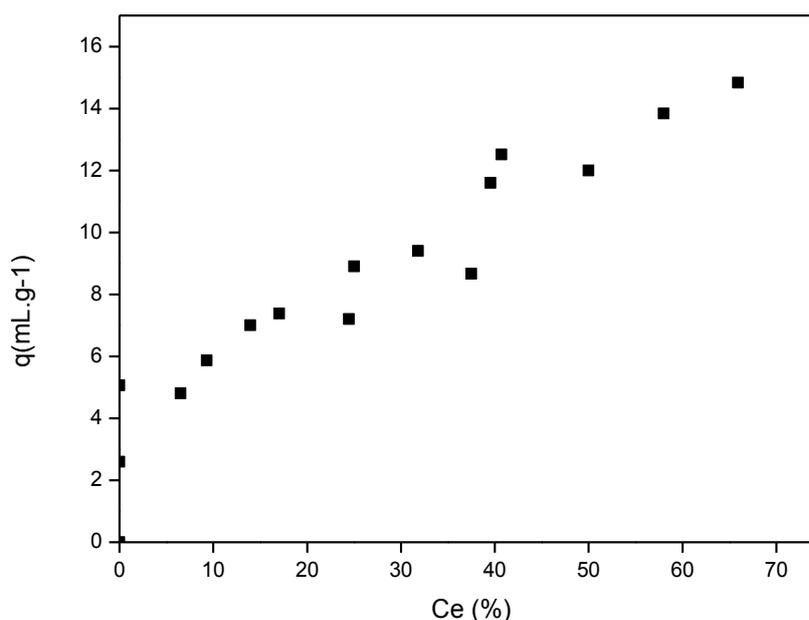
Os resultados experimentais obtidos para as curvas cinéticas, para as proporções adsorbato/adsorvente iguais a 7; 10 e 13, apresentaram valores que evidenciaram, em todos os casos estudados, que a cinética de adsorção foi muito rápida, tendo início nos primeiros 5 minutos e a quantidade média de gasolina adsorvida foi de 5,36; 6,75 e 8,43 mL por grama de biomassa, para as proporções 7, 10 e 13, com porcentagens de adsorção 63,8%; 56,25% e 54,74% respectivamente.

Os resultados obtidos para a quantidade adsorvida de gasolina por grama de biomassa utilizando o MDF como bioadsorvente, apresentaram valores maiores do que os obtidos por Oliveira (2017), a qual utilizou como biomassa o sisal (*agave sisalana*) sendo a quantidade de gasolina adsorvida menor do que 6 mL por grama de biomassa para as três relações gasolina/biomassa estudadas. Também em comparação com o engaço de uva, (OLIVIERA, 2017b), o MDF apresentou melhores resultados para todas as razões estudadas. Uma vez que a quantidade de gasolina adsorvida pelo engaço da uva também foi inferior a 6 mL por grama de biomassa para todas as razões estudadas.

4.3 ISOTÉRMA DE ADSORÇÃO

Na Figura 12 encontra-se apresentada a isoterma de adsorção para o sistema água/gasolina/MDF.

Figura 12 – Isoterma de adsorção de gasolina contida na dispersão água/gasolina usando como biomassa o MDF.



Fonte: Própria (2019)

A forma da isoterma obtida sugere ser do tipo II segundo classificação BET, a qual tem as seguintes características: A quantidade adsorvida tende a um valor infinito, correspondendo à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, e ocorre em sólidos não porosos ou macroporosos. (RUTHVEN, 1984).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que o resíduo de MDF utilizado, apresenta propriedades adsorptivas quanto a gasolina, sendo capaz de adsorver entre 5 e 9 mL aproximadamente de gasolina por cada grama de biomassa de acordo com a relação gasolina/biomassa.

A cinética de adsorção é muito rápida, iniciando nos primeiros 5 minutos de contato e forneceu valores de adsorção maiores do que outras biomassas, tais como sisal e engaço de uva, nas mesmas condições de operação.

A isoterma de adsorção obtida, apresenta curva que sugere ser do tipo II segundo classificação de BET. Característica que corresponde à adsorção em múltiplas camadas sobrepostas, sendo um indicativo de que a biomassa utilizada é um sólido não poroso ou macroporoso. O que poderá ser evidenciado em trabalho futuro com a caracterização do material.

No processo de adsorção ocorre à geração do resíduo MDF o qual contém o combustível adsorvido, esse resíduo é será disponibilizado para ser utilizado em processo de biorremediação do solo, desenvolvido pela professora Lígia Ribeiro, na própria UEPB.

Assim sendo, os resultados apontam para que o resíduo de MDF estudado seja uma alternativa como biomassa adsorvente de gasolina.

REFERÊNCIAS

ARIAS, A. R. L.; BUSS, D. F.; ALBURQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 61-72, 2007.

BRUNO, M. **Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água**. 102 f. Dissertação de mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2008.

CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M. D. 2005. **Contaminação de corpos d'água nas áreas urbanas de Corumbá e Ladário**. Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, n.89, p.1-4. 2005. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/812634/1/ADM089.pdf>
. Acesso em 06 nov. 2019.

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**. Monografia de Conclusão de Curso (TCC) em Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2014.

COELHO, R. S. **Avaliação da toxicidade de fluidos de Usinagem através da ecotoxicologia aquática**. São Carlos, 2006. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

DABROWSKI, A. **Adsorption-from theory to practice**. *Advances in Colloid and Interface Science*, v.9, p.135-224, 2001.

DIARIO DE PERNAMBUCO. Disponível em
<<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2019/11/petrobras-inicia-producao-de-petroleo-e-gas-natural-na-plataforma-p-68.html>> Acesso em 20 de set. de 2019.

DO, D. D. **Adsorption analysis: equilibria and Kinetics**. London: Imperial College Press, 1998.

FERNANDES, R. **Adsorventes Alternativos para Remoção de Fenol em Solução Aquosa**. Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, p. 78, 2005.

FERREIRA, E. S. (2010). **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tanino de acácia negra**. 212p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de PósGraduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B.; **Principles of Unit Operations**. 2.ed. John Wiley & Sons, NY, 1980.

HO, Y.S. **Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions.** *Scientometrics*, v. 59, p. 171 – 177, 2004.

HO, Y.S.; MCKAY, G. **Pseudo-second-order model for sorption process.** *Process Biochemistry*, v.34, n.5, p.451-465, 1999.

LUNARDI, L. M., **Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção com Pó de Serragem de Pinus Sp.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento de Engenharia Civil Curso de Engenharia Civil Campo Mourão 2014.

LUZ, A. D. **2012 Aplicação de coluna de adsorção em leito fixo para a remoção de compostos BTX multicomponentes presentes em efluentes petroquímicos.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Tese de Doutorado em Engenharia Química.

LUZ, E.R. Predição de propriedades de gasolinas usando espectroscopia FTIR e regressão por mínimos quadrados parciais. **A gasolina.** cap. 4. Tese de doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

McKay, G. **Use of adsorbents for the removal of pollutants from watewaters.** Florida: CRC Press, 1996. 186.

MORAIS, V. L. M. **Purificação de Efluentes Contaminados com Hidrocarbonetos por Adsorção em Leito Fixo de Biomassa.** Doutorado em Engenharia de Processos – UFCG, Campina Grande - PB, pp. 104, 2005.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S.C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Imprensa Universitária, Fortaleza, CE, 255 p., 2014

OLIVEIRA, E. H. C. **Adsorção de corantes da indústria têxtil (Indosol) em resíduos industriais (Lama Vermelha e Argila Esmectita).** Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

OLIVEIRA, E. D. C, **Remoção de Gasolina em Corpos D'água Utilizando Sisal (Agave Sisalana) como Adsorvente em Sistema de Adsorção em Leito Diferencial.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

OLIVEIRA, R. P., **Remoção de Hidrocarbonetos Presentes em Efluentes Aquáticos Utilizando o Resíduo Engaço do Processamento da Uva como Biomassa Adsorvente.** Relatório de Estágio, UEPB, Campina Grande, 2017.

PORTUGUESE ALIBABA. Disponível em <<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/veneer-block-board-mdf-board-laminated-wood-board-50034960469.html>> Acesso em: 06 de nov. de 2019

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption & Adsorption Process**. New York, John Wiley & Sons, 1984.

SILVA, A. T. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de Pinus elliottii como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

SILVA, L. M. M, **Estudo da Adsorção de Óleo Combustível Presente em Efluentes Utilizando Resíduo Sólido da Indústria Moveleira como Biomassa Adsorvente**. Projeto de Pesquisa, 2019.

WEBER, W. J. **Physicochemical processes for water quality control**. New York: John Wiley & Sons, 1972.