



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

EMERSON THIAGO DA SILVA

**RETENÇÃO E MOBILIDADE DO CORANTE VERMELHO DRIMAREN NUM
SOLO ALUVIONAR DO ALTO DO CAPIBARIBE**

Caruaru
2021

EMERSON THIAGO DA SILVA

**RETENÇÃO E MOBILIDADE DO CORANTE VERMELHO DRIMAREN NUM SOLO
ALUVIONAR DO ALTO DO CAPIBARIBE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho

Caruaru
2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

S58r Silva, Emerson Thiago da.
Retenção e mobilidade do corante vermelho drimaren num solo aluvionar do alto do Capibaribe. / Emerson Thiago da Silva. – 2021. 52 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Artur Paiva Coutinho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2021. Inclui Referências.

1. Degradação ambiental. 2. Adsorção. 3. Corantes. 4. Aluvião. 5. Indústria têxtil. I. Coutinho, Artur Paiva (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2021-304)

EMERSON THIAGO DA SILVA

**RETENÇÃO E MOBILIDADE DO CORANTE VERMELHO DRIMAREN NUM SOLO
ALUVIONAR DO ALTO DO CAPIBARIBE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Aprovado em: 20/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edevaldo Miguel Alves (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Zahily Herrero Fernández (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Severino Martins dos Santos Neto (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio grandioso que sempre tive na minha vida profissional e acadêmica da minha mãe Elizabeth Raimundo e do meu pai Severino José, que além de grandes pessoas, são um espelho de ser humano que quero ser.

À Honorina Silva, minha tia, por sempre acreditar no meu potencial e me ajudar a chegar em todos esses resultados de forma a minimizar meus problemas.

À minha irmã Daiane Silva, à minha sobrinha e afilhada Maiane Macedo e ao meu cunhado Manuel Macedo por sempre está ali quando precisei.

À minha namorada Lillyane Oliveira por ser meu gás final desse projeto, sempre me incentivando e me mostrando meu melhor lado.

Aos meus amigos, em especial à Alanna Bezerra por ser minha grande companheira de laboratório nesses períodos tão difíceis, além de ser uma ótima mentora e por ter me ajudado tanto nesse caminho.

Ao meu orientador Artur Coutinho por ter sido um verdadeiro mentor e amigo de todo este trabalho, por ter acreditado e confiado em mim em todos os momentos de graduação e pós-graduação, bem como à Severino Neto por ser um ótimo coorientador e me ajudar a ter os melhores resultados.

À Deus por sempre me abrir as portas nos momentos certos, por me ajudar a travar cada batalha diária e me abençoar em cada escolha que fiz em minha vida.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de mestrado e aporte financeiro para realização desta pesquisa e ao PPGECA e todos que de certa forma fizeram parte desse resultado final.

RESUMO

Pernambuco é um dos Estados que mais movimentam o PIB nacional e grande parte dessa contribuição se dá pelo setor de confecções. Tal setor encontra-se em sua maioria no Agreste do estado, que conta com mais de 15 municípios na região denominada como “Polo de Confecções do Agreste. Portanto, o desenfreado crescimento deste setor traz consigo alguns parâmetros, como o alto consumo de água em várias etapas de produção e conseqüentemente, alta geração de efluente contendo corantes e outros produtos químicos. Este trabalho avaliou a potencialidade de retenção do corante Vermelho Drimaren num solo aluvionar nas condições de clima e geologia do agreste pernambucano. Foram realizados ensaios de bateladas com caracterização física e química de uma camada retirada da região do Alto Capibaribe em Santa Cruz do Capibaribe. Foram realizados ensaios de cinética e isoterma de sorção. Os ensaios de isoterma foram realizados a partir da agitação da mesma mistura em concentrações variáveis, porém com concentrações fixas. A cinética foi realizada a partir da agitação da mistura solo-solução poluente em vários tempos com concentração fixa de 100mg/L. Os resultados foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. Os resultados foram ajustados aos modelos lineares de Langmuir e de Freundlich. Como resultados, observou-se que na cinética o modelo mais bem ajustado aos dados experimentais foi o de pseudo-segunda ordem para as duas camadas de solo por apresentar maior R^2 em comparação ao outro modelo. No ensaio de isoterma o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Freundlich. Além do mais, nos ensaios foi possível identificar que no geral, a camada 2 apresentou maior retenção para o VD.

PALAVRAS-CHAVE: degradação ambiental, cinética de adsorção, isoterma de adsorção, aluvião, indústrias têxteis.

ABSTRACT

Pernambuco is one of the states that most move the national GDP and a large part of this contribution is made by the clothing sector. This sector is mostly found in the state's Agreste, which has more than 15 municipalities in this segment, a region that is known as the "Polo Têxtil do Agreste", whose main cities are Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, and Toritama. Therefore, the unbridled growth of this sector brings with it some parameters that arouse attention to the planet, such as the high consumption of water in various stages of production and, consequently, high generation of effluent containing dyes and other chemical products. This work is unprecedented with such conditions and evaluated the potential of retention of the Red Drimaren dye in an alluvial soil in the climatic and geological conditions of the Pernambuco countryside, by means of batch tests with physical and chemical characterization of a layer removed from the Alto Capibaribe region. in Santa Cruz do Capibaribe. Kinetics and sorption isotherm tests were performed. The kinetics were performed by stirring the soil-pollutant solution mixture at various times with fixed concentration. The results were adjusted to the pseudo-first order and pseudo-second order models. The isotherm tests were carried out from the agitation of the same mixture in varying concentrations, however with fixed concentrations. The results were fitted to the Langmuir and Freundlich linear models. As a result, it was observed that in kinetics the model best adjusted to the experimental data was the pseudo-second order for the two soil layers because it presents a higher R^2 compared to the other model. In the isotherm test, the model that best fitted the experimental data was Freundlich's because it had a higher R^2 compared to the other model. Furthermore, in the tests it was possible to identify that, in general, layer 2 showed greater retention for the VD.

Key-words: environmental degradation, adsorption kinetics, adsorption isotherm, alluvium, textile industries..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Semiárido Brasileiro	14
Figura 2 –	Localização e zoneamento hidrológico da Bacia Hidrográfica do Capibaribe	16
Figura 3 –	Etapas do processo produtivo têxtil simplificado.	19
Figura 4 –	Rubia tinctorum	21
Figura 5 –	Estrutura Molecular do Vermelho Drimaren CL-5B	24
Figura 6 –	Efluente das lavanderias no município de Caruaru	27
Figura 7 –	Localização geográfica da área de estudo	31
Figura 8 –	Trincheira escavada em depósito aluvionar	31
Figura 9 –	Perfil das camadas de solo aluvionar utilizadas	32
Figura 10 –	Curvas de calibração para os comprimentos de ondas: a) 541nm; b)542nm	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características das camadas 1 e 2	33
Tabela 2 –	Resumo de parâmetros dos modelos de cinética	40
Tabela 3 –	Parâmetros de ajustes dos modelos de isoterma	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	SEMIÁRIDO BRASILEIRO	15
3.2	REGIÃO DO ALTO CAPIBARIBE	16
3.3	ALUVIÃO.....	17
3.3.1	Retenção de poluentes em solos aluvionares	18
3.4	POLO TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO	18
3.5	ETAPAS DA PRODUÇÃO TEXTIL.....	19
3.6	EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO TINGIMENTO TÊXTIL	21
3.6.1	Corantes Vermelhos	21
3.7	CORANTES TÊXTEIS.....	22
3.7.1	VERMELHO DRIMAREN CL-5B	24
3.8	POLUENTES EMERGENTES.....	27
3.9	TRANSPORTE DE SOLUTOS NO SOLO.....	28
3.9.1	CONVECÇÃO/ADVECÇÃO	29
3.9.2	DIFUSÃO MOLECULAR	29
3.9.3	DISPERSÃO HIDRODINÂMICA	30
3.9.4	SORÇÃO	31
4	METODOLOGIA	31
4.1	ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO SOLO.....	31
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA DO SOLO ALUVIONAR	33

4.3	SOLUÇÃO DE CORANTE	34
4.4	PONTO DE CARGA ZERO	35
4.5	CINÉTICA DE ADSORÇÃO	35
4.6	ISOTERMA DE ADSORÇÃO	36
4.7	MODELAGEM PARA OS ENSAIOS DE ADSORÇÃO	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	ENSAIOS DE SORÇÃO	38
5.1.1	CURVAS DE CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO DO VD	38
6	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS.....	46

INTRODUÇÃO

A problemática da poluição gerada por indústrias têxteis no agreste pernambucano é um fato existente, busca-se continuamente por soluções viáveis para atenuar os danos ambientais causados por este tipo de atividade fabril. E com o aumento dessas indústrias, o consumo de água local e por sua vez a geração de efluentes que degradam o meio ambiente, cresce de forma direta (Alexandre, 2019).

Aproximadamente 75% da atividade industrial pernambucana relacionada ao segmento de vestuário encontra-se na região do agreste pernambucano (ARAÚJO et al., 2006) e é conhecida como Polo Têxtil do Agreste. Estima-se que 18 mil empresas têxteis estejam localizadas nas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Surubim. Ao final de 2017, o polo acumulou um faturamento de 3,5 bilhões de reais durante 12 meses corridos. Certamente houve um crescimento substancial da economia, pois o setor local emprega mais de 120 mil pessoas (PRODV, 2019).

Esta atividade, que é hoje em dia uma das principais fontes econômicas da região, também traz diversos problemas devido à falta de fiscalização nas indústrias têxteis quanto a existência de estações de tratamento de efluentes. O lançamento direto de efluentes domésticos e industriais, provenientes das lavanderias de jeans da região intensificam os impactos negativos dos corpos hídricos e nos solos da região, como alteração da atividade fotossintética do meio e esgotamento do oxigênio dissolvido (LIMA & SAMPAIO, 2017).

Santa Cruz do Capibaribe, cidade em estudo, é uma cidade pernambucana que está na região semiárida, apresenta déficit hídricos e alta evaporação. O solo desta região possui características de um solo aluvial, comportando camadas de diferentes classes texturais (EMBRAPA, 2000). Como são reservas características da região do Alto Capibaribe, esses depósitos também estão sujeitos a contaminação por poluentes emergentes, principalmente os corantes, já que há grande representatividade de indústrias de confecção têxtil na região.

Classificados como poluentes emergentes, os corantes têxteis trazem danos para a biota e representam um risco iminente para a saúde humana. Mesmo em pequenas

concentrações, esses corantes, já causam efeitos adversos, como a morte e o atraso na regeneração de organismos aquáticos (UMBUZEIRO, 2012).

Segundo Khalifi (2009), vários corantes são usados nas indústrias têxteis, alimentícia, de fabricação de papel e na indústria cosmética. Estes corantes, em especial os corantes têxteis, são considerados extremamente perigosos devido sua toxicidade e por apresentarem baixa taxa de degradabilidade.

A produção total de corantes no mundo é estimada em 800.000 ton./ano e pelo menos 10-15% destes entram no meio ambiente através de efluentes (GANODERMAIERI *et. al.*, 2005). Efluentes contendo corantes têxteis são geralmente descartados em grande quantidade no mundo todo em corpos de águas naturais diariamente (MEEHAN *et. al.*; 2006)

Segundo Alexandre (2019), é necessário alterar a qualidade dos efluentes, a fim de que se atinjam parâmetros aceitáveis pela Resolução CONAMA Nº 430/2011 e para o reuso sem fins potáveis. O tratamento de efluentes têxteis é de interesse do ponto de vista ambiental, devido ao grande volume gerado e enorme diversidade e complexidade química.

Uma solução para minimizar esses impactos negativos é o investimento em saneamento. No entanto, as políticas públicas, na maioria das vezes, não suprem as necessidades reais. O déficit de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil tem resultado em parcela significativa de efluentes sem tratamento e sem destinação adequada, comprometendo a qualidade das águas para diversos usos, com implicações danosas à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente (ALEXANDRE, 2019).

Segundo Ferreira (1999), o perfil Drimaren tem baixa substantividade (na fase sal) e média reatividade, características que conferem uma enorme versatilidade nos processos de tingimento. Os corantes Drimaren CL se dividem quanto as suas tonalidades, sendo claras, médias escuras e específicas. O Vermelho Drimaren (VD) é um exemplo de tonalidade específica, é um corante de pó escuro, de cor vermelho amarronzado. Este corante é um dos mais usados no Polo Têxtil do Agreste, como afirma Silva (2015) e será objeto do presente estudo.

A intensa atividade têxtil no Agreste de Pernambuco e a importância da conservação das escassas águas superficiais e subterrâneas da região tornam necessário o desenvolvimento de estudos para avaliar o impacto da atividade manufatureira no subsolo (ALVES *et. al*, 2020).

Com todo o cenário apresentado, esse estudo é inédito com tais características e torna-se necessário o estudo de formas de retenção, bem como o comportamento desses solutos no solo.

Portanto este trabalho visa verificar o potencial de retenção e mobilidade do corante têxtil Vermelho Drimarenem solo aluvionar nas condições reais de geologia e clima da cidade de Santa Cruz do Capibaribe através de ensaios de adsorção.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de retenção do corante Vermelho Drimaren em um depósito aluvionar, nas condições de clima e geologia do agreste pernambucano.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a capacidade de sorção do corante Vermelho Drimaren em duas camadas de um solo aluvionar característico do leito seco do Rio Capibaribe através de ensaios de cinética;
- Avaliar a capacidade de sorção do corante Vermelho Drimaren em duas camadas de um solo aluvionar característico do leito seco do Rio Capibaribe através de ensaios de isoterma;

REFERENCIAL TEÓRICO

1.3 SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A região nordeste concentra a maior parte do semiárido do Brasil, o qual, com exceção do Maranhão onde é menos expressivo, recobre parcela considerável ou quase total do território dos estados nordestinos (Figura 1). Além do Nordeste, o semiárido ainda contempla parte de Minas Gerais na região Sudeste, englobando ao todo 1.262 municípios.

Figura 1: Semiárido Brasileiro



Fonte: INSA, 2017.

Os critérios de delimitação do semiárido foram definidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2017):

- Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800mm;

- Índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50;
- Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

1.4 REGIÃO DO ALTO CAPIBARIBE

Geologicamente a bacia do Capibaribe apresenta-se como predominantemente cristalina, com ocorrência de unidades sedimentares no Baixo Capibaribe. A altitude varia de 900 metros no Alto Capibaribe, decrescendo para menos de 100 metros na Zona da Mata, e chegando ao nível do mar na planície costeira. Em relação às precipitações pluviométricas verifica-se uma grande amplitude, com valores que variam de 600 a 2400 mm/ano, aumentado à medida que se aproxima do litoral. A evapotranspiração potencial possui tendência inversa, sendo maior no Agreste e menor no Litoral (BRAGA *et al.*, 2015).

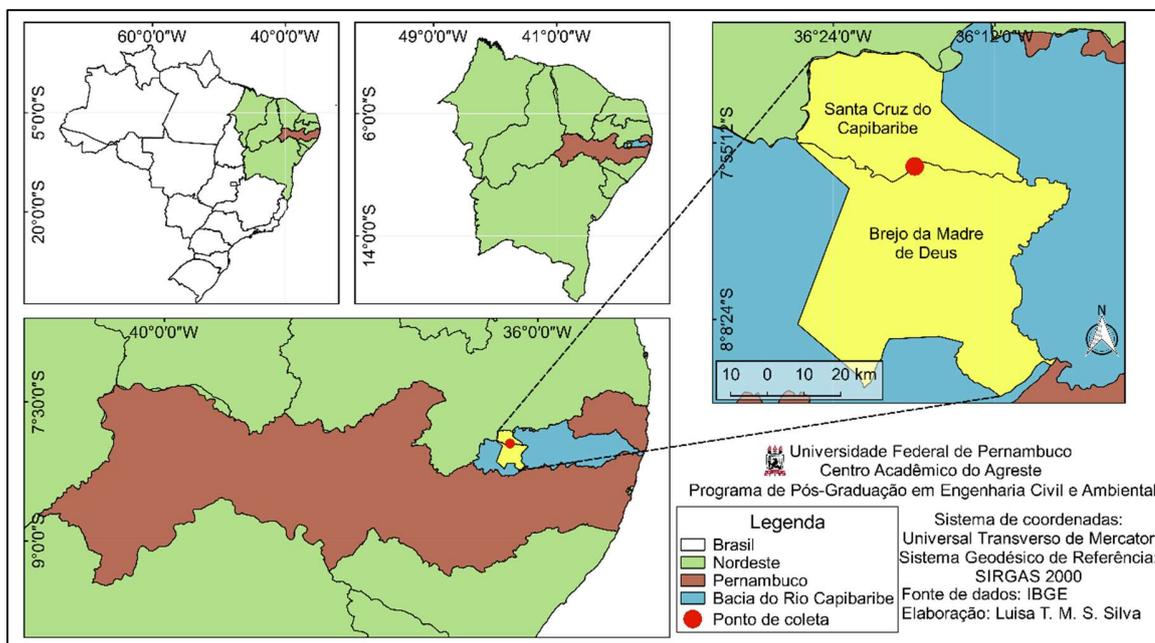
Segundo Silva (2020), a bacia do Capibaribe pode ser dividida em três macrozonas, identificadas como Alto, Médio e Baixo Capibaribe. O Alto Capibaribe, situado no Agreste Pernambucano, apresenta déficit hídrico, em que a quantidade anual de chuvas é insuficiente para alimentar os mananciais e atender aos usos múltiplos da água.

A Bacia Hidrográfica do Capibaribe possui área equivalente a 7.588 km² dividida em três Macrozonas, pelo zoneamento hídrico em função das demandas, dos sistemas de fornecimento de água e da tipologia do modelo, sendo: Alto Capibaribe (MZ-1), Médio Capibaribe (MZ-2) e Baixo Capibaribe (MZ-3) (PERNAMBUCO, 2010).

No Alto Capibaribe, o solo é pedregoso e raso, e a pluviosidade é baixa, predominando-se as nascentes temporárias, sendo ativas em curto período do ano (BRAGA *et al.*, 2015).

O local de estudo está compreendido entre os municípios de Santa Cruz do Capibaribe e Brejo da Madre de Deus, no estado de Pernambuco (Figura 2).

Figura 2—Localização e zoneamento hidrológico da Bacia Hidrográfica do Capibaribe



Fonte: Silva (2020).

A Macrozona 1, ou Região do Alto Capibaribe, abrange 11 municípios: Sanharó, Tacaimbó, Brejo da Madre de Deus, São Caetano, Toritama, Santa Cruz do Capibaribe, Taquaritinga do Norte, Jataúba, Belo Jardim, Pesqueira e Poção.

1.5 ALUVIÃO

Os depósitos aluvionares são formados por sedimentos clásticos, ou seja, cascalhos, areias e finos, o que inclui partículas pequenas e grandes pois os sedimentos foram transportados e depositados por processos fluviais (WESTON, 2001), sendo de grande importância para o Nordeste brasileiro pela sua expressiva capacidade de reserva hídrica subterrânea (COELHO *et al.*, 2017). Dessa forma, as manchas aluvionares presentes nas zonas de domínio do cristalino são consideradas como fontes prioritárias para o desenvolvimento agrícola de pequena escala da região, pois formam uma reserva de fácil exploração (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015).

Devido a esse processo de formação, confirmado pelos perfis encontrados em locais em que esse tipo de solo está presente, pode-se dizer que as partículas maiores, como pedregulhos, se depositam primeiro às margens dos corpos hídricos. Posteriormente, as partículas mais finas (siltes e argilas) também se depositam. A fração granulométrica mais comum é o silte. Esse tipo de solo também é classificado como, Neossolo Flúvico (NOGUEIRA E CAPAZ, 2014).

Os depósitos aluvionares, como já dito, são de composição heterogênea. São caracterizados por serem fofos, além de possuírem o nível do lençol freático superficial, o que facilita a implantação de poços e, conseqüentemente, a exploração dos aquíferos. Devido a tudo isso, são muito vulneráveis aos agentes contaminantes (NOGUEIRA E CAPAZ, 2014).

1.5.1 Retenção de poluentes em solos aluvionares

Neto (2019) diz que o transporte de poluentes na zona não saturada é um processo chave, que influencia no grau de contaminação do aquífero aluvionar. Um fator que impacta nos processos de transporte de poluentes é a heterogeneidade natural que compõe a zona não saturada, provocando uma elevada não linearidade dos processos de transporte de contaminantes e de transferência de água.

1.6 POLO TÊXTIL DO AGRESTE PERNAMBUCANO

No Brasil, a receita que a indústria têxtil gera é de US \$51,58 bilhões por ano para uma produção média de 1,3 milhão de toneladas e 8,9 bilhões de peças de vestuário (ABIT, 2018). Em todo o mundo, é o segundo maior fabricante de jeans, o terceiro na produção de malhas e o quinto maior parque industrial, além de referência em moda praia, jeanswear e homewear (ABIT, 2018). Segundo Oliveira Neto et al. (2019), a importância da indústria têxtil para a economia dá-se através da geração de 1,5 milhão de empregos diretos em sua cadeia produtiva com mais de 8 milhões de empregos indiretos.

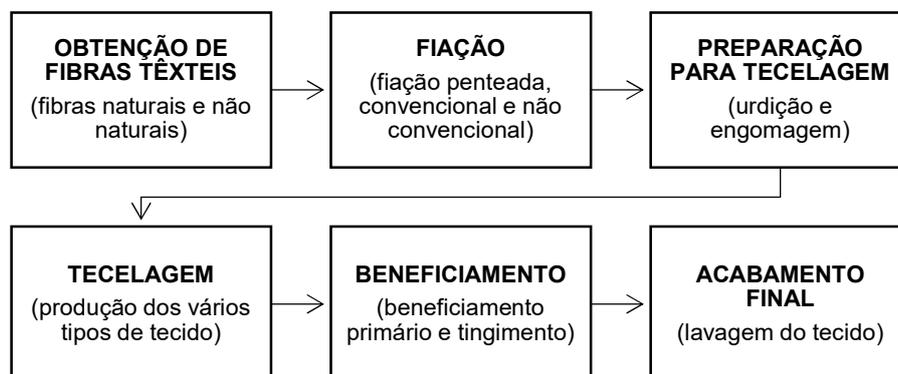
Empregando cerca de 250 mil pessoas, entre empregos formais e informais em todo o Estado de Pernambuco, o setor têxtil e de confecções da região Agreste movimentava quase R\$ 6 bilhões, por ano. Atualmente, o setor é responsável por uma produção anual de mais de 225 milhões de peças (ARAÚJO, 2020).

Ferreira & Vasconcelos (2011) identificam as feiras de confecções existentes nas cidades, como uma das causas para a alta informalidade no mercado de trabalho, por si só, feiras são fontes de absorção de mão de obra informal. Porém, na própria produção há grande concentração de informalidade, boa parte da produção é feita por autônomos ou empresas familiares, que não contam com nenhum direito trabalhista. Outra característica deste setor é a participação maciça do gênero feminino. Além disso, este setor conta com trabalhadores muito novos o que pode contribuir para explicar o baixo nível de instrução (DIEESE, 2010).

1.7 ETAPAS DA PRODUÇÃO TEXTIL

As etapas de processamento da cadeia de produção têxtil está demonstrada na Figura 3. Segundo a SINDITÊXTIL (2009), as fibras podem ser naturais (de origem vegetal, animal ou mineral), ou fibras manufaturadas, também conhecidas como fibras químicas (de origem artificial ou sintética). São exemplos das fibras naturais de origem vegetal, o algodão e o linho, de origem animal a seda e a lã, de origem mineral o amianto. De origem artificial temos viscose e acetato que são produzidas a partir da celulose da madeira e de origem sintética pode-se destacar a poliamida e o poliéster.

Figura 3 – Etapas do processo produtivo têxtil simplificado



Fonte - Alves (2019)

Fiação é a arte de transformar mecanicamente os materiais fibrosos, naturais ou químicos em fios. A tecnologia da fiação engloba: operações em máquinas, construções das máquinas, fluxos de produção e aproveitamento de resíduos do processo. Em resumo, a tecnologia da fiação preocupa-se em obter a máxima produtividade e o melhor índice de qualidade (LOESCH, 1995).

A engomagem consiste na impregnação e revestimento dos fios de urdume, com substâncias adesivas e formadoras de um filme sobre suas superfícies, para aumentar a resistência mecânica dos fios pela melhor adesão entre as fibras. As gomas tornam a superfície do fio mais lisa, sem fibras projetadas lubrificando-as e diminuindo suas tensões e os atritos (ALCÂNTARA & DALTIM 1996).

Segundo Rodrigues (2010), tecelagem é o ato de tecer, de entrelaçar os fios da trama e do urdume formando tecidos. A tecelagem é manual ou artesanal quando é resultado de um processo onde as tecelãs exercem uma atividade predominantemente manual, sem elementos industriais de repetição, seja em ambientes domésticos, em pequenas oficinas ou em associações de tecelagem.

Ainda segundo Alcântara & Daltin (1996), o tingimento é o processo de aplicação de corantes aos substratos têxteis objetivando a modificação da sua cor original. É importante dizer que não há corante que tinga todas as fibras existentes e não há uma fibra que possa ser tingida por todos os corantes conhecidos. O tingimento também pode ser efetuado pela aplicação de pigmentos (o pigmento difere do corante por não

apresentar afinidade química ou física com as fibras) juntamente com ligantes (polímeros).

A última etapa do processo, consiste na lavagem da peça, é nesta que a grande parte do efluente é gerado e lançado ao meio ambiente.

1.8 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO TINGIMENTO TÊXTIL

A utilização pelo homem de corantes de origem animal, vegetal e mineral, é muito antiga. Estes corantes foram usados como adorno pessoal, para decorar objetos, armas e utensílios, fazer pinturas e principalmente tingir os têxteis com os quais cobriam o corpo e embelezaram as habitações. Segundo Araújo (2006), muitas substâncias corantes foram obtidas de flores, sementes, bagas, frutos, cascas, madeira e raízes de plantas. No entanto a maior parte destes materiais tiram cores pouco persistentes que desapareciam facilmente com a lavagem ou por exposição a luz.

3.6.1 Corantes Vermelhos

O corante vermelho era obtido de várias formas. O corante vegetal vermelho mais importante foi sem dúvida a garança ou ruiva, extraída da *Rubia tinctorum*. A arte de tingir com a garança parecer ter tido origem no Oriente e através dos impérios egípcio e persa, ter atingido a civilização greco-romana (GILBERT & COOKE, 2001). Ainda segundo os autores, o tingimento com a ruiva permitia obter tecidos de um vermelho intenso e brilhante conhecido por vermelho da Turquia. Era um corante muito popular no Oriente Médio, tendo sido identificados em tecidos encontrados em túmulos egípcios e no deserto da Judeia (ARAÚJO, 2006).

Figura 4 – *Rubia tinctorum*

Fonte: Pixabay (2018)

Há também o de origem animal. São conhecidos dois corantes vermelhos provenientes de insectos, o quermes e a cochinilha. Ferreira *et. al.* (2004) relatam que o quermes é um corante vermelho escarlata extraído das fêmeas grávidas do pulgão, *Kermesillici*, que vive sobre uma espécie de carvalhos e se desenvolve em países da zona mediterrânica.

1.9 CORANTES TÊXTEIS

Segundo Alcântara e Dalfin (1996), do ponto de vista de tinturaria os corantes podem ser classificados como: diretos ou substantivos, ácidos, azoicos, a cuba, ao enxofre, reativos, dispersos, brancos ou branqueadores ópticos.

Alcântara e Dalfin (1996) ainda exemplifica cada tipo de corantes como podemos ver a seguir:

- **Corantes diretos**: constituem uma classe de corantes que são solúveis em água e se ligam às fibras por interações de Van der Waals. Tingem diretamente a celulose num banho aquoso acrescido de um eletrólito que aumenta a força iônica do meio, e, portanto, a afinidade que o corante apresenta pela fibra.
- **Corantes ácidos** : solúveis em água, tingem diretamente as fibras proteicas e poliamídicas pois interagem com o par de elétrons do nitrogênio. O tingimento com essa classe de corantes é feito em banho aquoso, contendo corante, um ácido e um sal.
- **Corantes básicos** :solúveis em solução aquosa acidulada, tingindo a lã, acrílico e a seda natural. Tais corantes são mais utilizados sob forma quimicamente modificada, a fim de que possam tingir a fibra acrílica.
- **Corantes azóicos**: obtidos sinteticamente sobre as fibras no momento do tingimento, a partir da aplicação no material têxtil de dois compostos, o Naftol (composto aromático insolúvel em água e que reage com a celulose) e uma base insolúvel em água que é solubilizada por meio de nitrito de sódio e ácido clorídrico, tornando-se assim uma base diazotada. Esses corantes podem ser obtidos sobre as fibras vegetais, a seda natural, a viscose e a poliamida.
- **Corantes a Cuba**: insolúveis em água, mas que através da redução com hidrossulfito de sódio em meio alcalino, se transformam em leuco derivados solúveis e tingem os materiais têxteis celulósicos. Também são chamados de corantes a tina e de redução.
- **Corantes ao enxofre** :insolúveis em água, sendo aplicados após terem sido reduzidos com hidrossulfito de sódio. Após a montagem, são oxidados, convertendo-se em corantes insolúveis originais. Cabe salientar que este corante tem sido cada vez menos utilizado por apresentar resíduos altamente poluentes, sendo substituído pelos sulfurosos ecológicos cujo redutor é a glicose.
- **Corantes reativos** : solúveis em água e reagem com algumas fibras têxteis, formando uma ligação do tipo covalente. É a mais importante classe

de corantes utilizados atualmente, podendo ser usados em fibras celulósicas, em seda ou lã.

- **Corantes dispersos:** corantes insolúveis em água, que foram introduzidos no tingimento do acetado de celulose e que atualmente são utilizados em todas as fibras hidrofóbicas. Tem sido bastante utilizado no tingimento do poliéster, através de máquinas pressurizadas e que operam com elevadas temperaturas.
- **Corantes brancos** :denominados branqueadores ópticos, são substâncias que quando aplicadas em tecidos brancos, proporcionam alta reflexão de luz, inclusive de comprimentos de onda não visíveis que são transformados em visíveis por excitação e retorno de elétrons aos níveis normais.

Os corantes também podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo e etc.)(GUARANTINI E ZANONI, 2000).

A produção total de corantes no mundo é estimada em 800.000 ton. /Ano e pelo menos 10-15% destes entram no meio ambiente através dos efluentes (GANODERMAIER *et. al.*, 2005)

Segundo Peixoto *et al.* (2013), em todo o mundo, efluentes contendo corantes têxteis são geralmente diariamente descartados em grande quantidade nos corpos de águas naturais, estes corantes são identificados como os compostos mais problemáticos nos efluentes têxteis devido a sua alta solubilidade na água e baixa degradabilidade.

3.7.1 VERMELHO DRIMAREN CL-5B

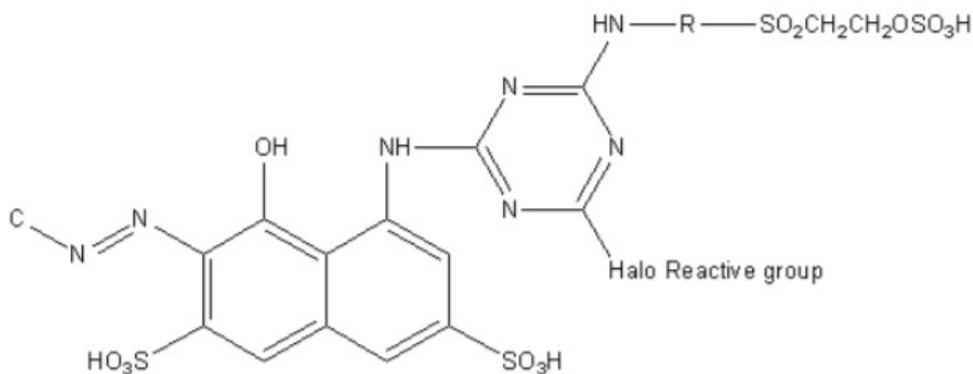
Os corantes Drimaren CL são conhecidos por terem uma enorme versatilidade nos processos de tingimento, ou seja, pode-se trabalhar com esses corantes tanto nos processos contínuos, quando nos processos descontínuos (FERREIRA, 1999).

Ainda segundo Ferreira (1999), os corantes Drimaren CL são divididos em 3 classes de tonalidade: Claras, médias escuras e Específicas; sendo o VD CL um de tonalidade específica.

O corante VD CL-5B, é bastante usado na região Agreste para o tingimento das peças e por isso é de importante estudo. Sua massa molar é de 1026,41 g/mol e seu

número no catálogo de Índice de Cores é RR241. Na Figura 5, pode-se observar sua estrutura molecular.

Figura 5 – Estrutura Molecular do Vermelho Drimaren CL-5B



Fonte: KHAN *et. al.* (2010).

Segundo Castro *et. al.* (2018), o corante VD é um corante do grupo azo e por isso tem como propriedades: i) ser aniônico, ii) apresentar baixa reatividade, iii) facilmente solúvel em água e reage com fibras celulósicas, proteicas e poliamidas.

Há pesquisas em todo o mundo utilizando o corante vermelho. Yasaret *et. al.* (2007) avaliaram a descolorização do Red CL-5B variando a sua concentração; Khan *et. al.* (2010) avaliaram a descolorização do Red CL-5B; Feifei Lu (2019) avaliou a adsorção do Red18 utilizando um composto polimérico poroso; No Brasil há estudos semelhantes a descolorização do corante. No trabalho de Silva (2015), são utilizados métodos de degradação por processo oxidativo.

Rosolen *et. al.* (2004) analisaram 9 corantes têxteis, entre eles o Vermelho Drimaren CL-5B. Foi proposta a biodegradação por meio de fungos basidiomicetos. Inicialmente realizaram procedimentos para avaliar a capacidade de degradação dos corantes pelos fungos selecionados e posteriormente foram determinadas as atividades das prováveis enzimas atuando na degradação e toxicidade do efluente. Os fungos utilizados foram *P. sajor caju* e *P. ostreatus*. Após 16 dias de incubação, o Vermelho Drimaren CL-5B começou a ser degradado e aos 21 dias as placas utilizadas estavam totalmente descoloridas.

Dallago *et. al.* (2005) utilizaram o couro residual “wet blue” como material adsorvente de corantes têxteis em soluções aquosas em 4 corantes, entre eles o Vermelho Drimaren X6BN. O couro “wet blue” caracteriza-se por apresentar um teor de cromo aproximadamente 20g/L. Para todos os corantes o couro apresentou uma capacidade de adsorção no mínimo similar à do carvão ativado, um adsorvente bastante utilizado no tratamento de efluentes têxteis. Para o VD o couro “wet blue” apresentou uma capacidade de adsorção significativamente superior, sendo 29,15mg/g no carvão ativado e 121,4mg/g no couro.

Silva *et. al.* (2010) caracterizaram e investigaram as propriedades eletrônicas e fotocatalíticas de nanocompósitos semicondutores. As degradações foram efetuadas utilizando-se o corante VD, em que sua solução aquosa foi exposta a uma radiação UV na presença de TiO₂. A degradação do corante foi monitorada pela banda de sorção do corante utilizando um espectrofotômetro. A fotodegradação do corante VD revelou melhor eficiência para o nanocompósito ZnO/TiO₂ 3% em comparação com outras proporções de ZnO/TiO₂ e com o TiO₂ puro.

Gonçalves *et. al.* (2008) avaliaram a influência da temperatura e do pH na adsorção do corante têxtil Vermelho Drimaren utilizando materiais à base de óxido de ferro e nióbia. Para a obtenção das isotermas de adsorção, os testes foram feitos em bateladas. O comportamento da adsorção mostrou-se dependente do pH da solução. Em baixo valor de pH o material adsorveu maior quantidade de corante. A influência da temperatura na capacidade máxima de adsorção dos diferentes materiais foi estudada em valores de pH=6. Os máximos de adsorção obtidos à temperatura de 60°C foram de aproximadamente 65 e 66 mg de corante por g de compósito, para o compósito Fe/Nb e óxido de ferro, respectivamente.

Castro *et. al.* (2018), determinaram a eficiência na adsorção de 3 corantes (entre eles o Vermelho Drimaren) sobre a argila branca. Foi utilizada a cinética de adsorção e isoterma de adsorção. A eficiência de adsorção da argila branca para o VD ocorreu apenas em concentrações de 10 e 20mg/l com 82,21% e 80%, em concentrações maiores a eficiência não atinge o padrão aceitável e chega a 43,51%.

Khehraet *et. al.* (2006), projetaram um biorreator para a descoloração e degradação do AcidRed 88. Foram utilizadas 4 bactérias: *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*,

Pseudomonas fluorescência e *Stenotrophomonas acidaminiphila*. O biorreator sequencial em escala do laboratório consistia em um reator de coluna de filme fixo de fluxo ascendente e um reator aeróbio continuamente agitado. O biorreator sequencial alcançou descoloração completa e até 98% de remoção de carga da demanda química de oxigênio do efluente sintético a uma concentração de 100mg/L.

Daneshvaref. *al.* (2004), estudaram a degradação fotocatalítica do AcidRed 14 na presença de ZnO como alternativa adequada ao TiO₂ irradiado por UV. O efeito da irradiação UV, o pH e a quantidade de fotocatalizadores foram analisados. O efeito da adição de H₂O₂ também foi estudado para a eliminação do corante. Os resultados indicaram que o grau de degradação do AcidRed 14 foram afetados pelo tempo de iluminação, pH e quantidade de fotocatalizador. A decomposição foi mais eficiente em solução neutra, e a remoção da cor após a seleção de parâmetros operacionais, poderia ser alcançado em um tempo mais ou menos de 1h.

1.10 POLUENTES EMERGENTES

Nascimento *et. al.* (2015) afirma que a utilização do termo “poluentes emergentes” refere-se não necessariamente às descobertas recentes, e sim ao fato de ser um grupo em especial, com características peculiares que os tornam um importante tema de pesquisas. Alguns grupos de compostos não considerados problemáticos no presente podem ser mostrar altamente indesejáveis no futuro.

Raimundo (2007) diz que essas substâncias são provenientes da urbanização, como os produtos de higiene pessoal como fragrâncias contendo grupos nitro, produtos farmacêuticos: antipiréticos, analgésicos, cardiovasculares, psicotrópicos, anti-inflamatórios, antibióticos, fármacos que atuam no sistema endócrino e também das práticas agrícolas, como os hormônios e agrotóxicos. Ainda segundo Raimundo, há alguns tipos de fontes de poluição como: fontes pontuais de poluição, que são definidas como a entrada direta dos poluentes no meio ambiente, sendo facilmente identificadas e diagnosticadas e, por este motivo, possível de se estabelecer medidas de controle. Estas fontes estão geralmente, associadas ao descarte de efluentes a partir de estações de

tratamento de efluentes industriais, estações de tratamento de esgoto e ao próprio esgoto bruto.

Figura 6 - Efluente das lavanderias no município de Caruaru



Fonte - Silva et. al. (2012).

1.11 TRANSPORTE DE SOLUTOS NO SOLO

O processo de transferência de solutos no solo é regido pelo movimento da água ou pelo fluxo de massa, podendo haver adsorção, absorção pelas plantas ou precipitação quando a concentração excede a solubilidade (HILLEL, 1998). No entanto, os solutos também se dispersam na água, não apenas se movendo com esta, em resposta aos gradientes de concentração, reagem entre si e interagem com a matriz sólida em ciclos de processos físicos e químicos inter-relacionados, podendo sofrer interferências a partir de fatores como acidez, temperatura, composição e concentração da solução do solo (COSTA; ANTONINO; NETTO, 2006).

Segundo Barros (2019), os processos de transporte de contaminantes no solo podem ser físicos ou químicos. Quanto aos processos físicos os solutos podem se deslocar no solo por três processos: convecção/advecção, difusão molecular e dispersão hidrodinâmica. Quanto aos processos químicos, por serem muitos e de difícil

diferenciação entre si, destaca-se o conceito de sorção, que resume todos a um único processo.

3.9.1 CONVECÇÃO/ADVECÇÃO

A convecção se refere ao movimento de soluto transportado com a água, sendo o transporte de soluto proporcional à sua concentração, ou seja, é o transporte de contaminantes devido ao processo de fluxo de água no solo (BARROS, 2019). Segundo Bergmann (2016), considerando um meio saturado, a taxa de transporte é determinada pela velocidade de infiltração \bar{v} (LT⁻¹) do fluxo, também conhecida por velocidade linear média, e é dada pela Equação 1:

$$\bar{v} = \frac{-k \, dh}{n \, dl} = \frac{-ki}{n} \quad (1)$$

Onde:

- k = condutividade hidráulica (LT⁻¹);
- h = carga hidráulica (L);
- l = distância percorrida (L);
- i = gradiente hidráulico (adimensional);
- n = porosidade efetiva (adimensional).

E por fim esse fenômeno é descrito pela Equação 2 (PREVEDELLO, 2015):

$$J_c = c * \bar{v} \quad (2)$$

Onde:

- J_c = Fluxo advectivo [ML⁻²T];
- c = Concentração do contaminante dissolvido no fluido [ML⁻³];

3.9.2 DIFUSÃO MOLECULAR

Segundo Branco et. al. (2018), a difusão molecular é um mecanismo de transporte governado por forças intermoleculares, quando há a ocorrência de um gradiente de concentração do soluto ao longo do meio. Assim, as partículas se movem por difusão de

um ponto de maior concentração para um de menor concentração. A taxa de difusão J_d é expressa pela primeira lei de Fick, como descrito na Equação 3.

$$J_d = -D_a \frac{\partial C}{\partial X} \quad (3)$$

Onde:

- J_d = quantidade de íons difundidos por unidade de tempo (fluxo de difusão molecular);
- D_a = coeficiente de difusão molecular na água [L^2/T];
- $\partial c/\partial x$ = gradiente de concentração do soluto [$M/L^3/L$].

Barros (2019), diz que o coeficiente D_a varia sensivelmente com a temperatura. As partículas em difusão movem-se independentemente uma das outras, colidem com menos frequência com as moléculas do fluido no qual estão imersas, mas raramente colidem entre si.

3.9.3 DISPERSÃO HIDRODINÂMICA

Segundo Nascentes (2003), a dispersão hidrodinâmica é um fenômeno em que um soluto durante seu movimento em sub-superfície se mistura com águas não-contaminadas, causando a redução na concentração original. A dispersão pode ocorrer tanto na direção do fluxo como em direções perpendiculares a esta.

A água move-se com maior velocidade quanto maior for o diâmetro do poro, e quanto mais distante das paredes e mais próximo ao seu centro. Essa diferença de velocidade faz com que algumas partes da solução fluida avancem enquanto outras porções ficam para trás (HILLEL, 1998).

Matematicamente a dispersão hidrodinâmica pode ser expressa pela Equação 4:

$$D = \lambda v \quad (4)$$

Onde:

- λ = Dispersividade;
- v = velocidade média da água nos poros.

3.9.4 SORÇÃO

De acordo com Booker (1995), sorção é o processo em que um contaminante é removido da solução, independente da natureza do processo, que pode incluir a troca catiônica ou partição de compostos orgânicos na matéria orgânica sólida. A sorção incluiria os processos de adsorção, absorção, sorção química e troca iônica (RITTER, 1995).

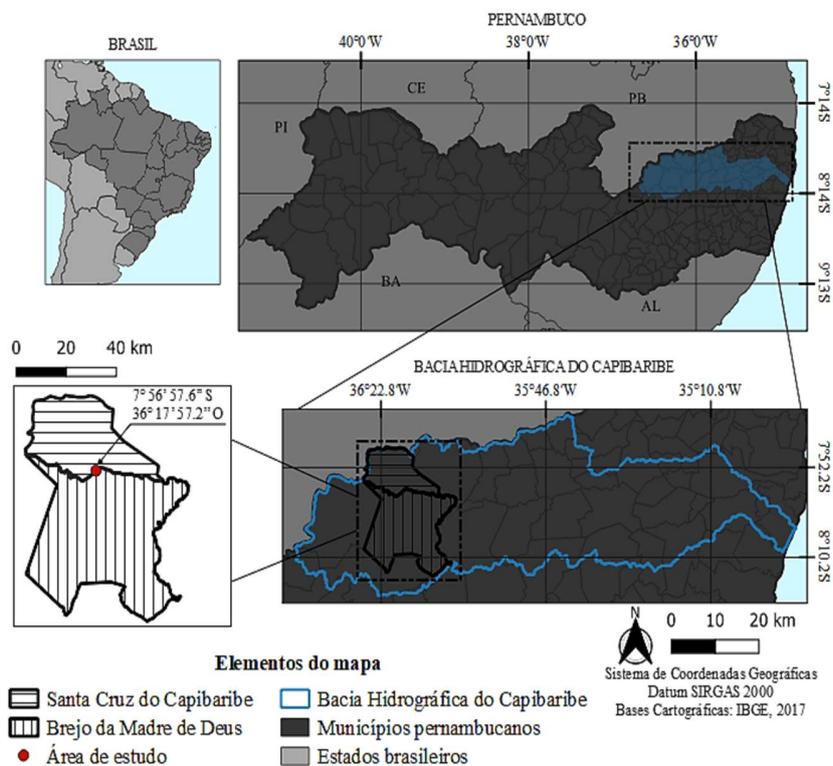
A adsorção é definida como o processo físico-químico em que a atração molecular fixa os solutos à superfície dos sólidos, tais como matéria orgânica, rocha ou partículas de solos. As forças que atraem o soluto da fase líquida para a superfície das partículas sólidas podem ser físicas ou químicas (NASCENTES, 2003).

METODOLOGIA

1.12 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DO SOLO

As amostras de solo utilizadas para os experimentos foram retiradas de um depósito aluvionar inserido no Alto Capibaribe, no trecho do Sítio Poço da Lama, o qual está localizado na divisa dos municípios de Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe (Figura 7), mais precisamente na região rural desta última. A localização geográfica da área de estudo é 7°56'57.6" S e 36°17'57.2" O, no leito seco do Rio Capibaribe, estando a aproximadamente 10 km do centro da cidade de Santa Cruz do Capibaribe.

Figura 7: Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Rabelo (2018)

Inicialmente, realizou-se a escavação de uma trincheira de 12 metros de comprimento, por 2 metros de profundidade e 5 metros de largura. Na Figura 8 está apresentada o detalhamento da trincheira escavada em depósito aluvionar

Figura 8: Trincheira escavada em depósito aluvionar

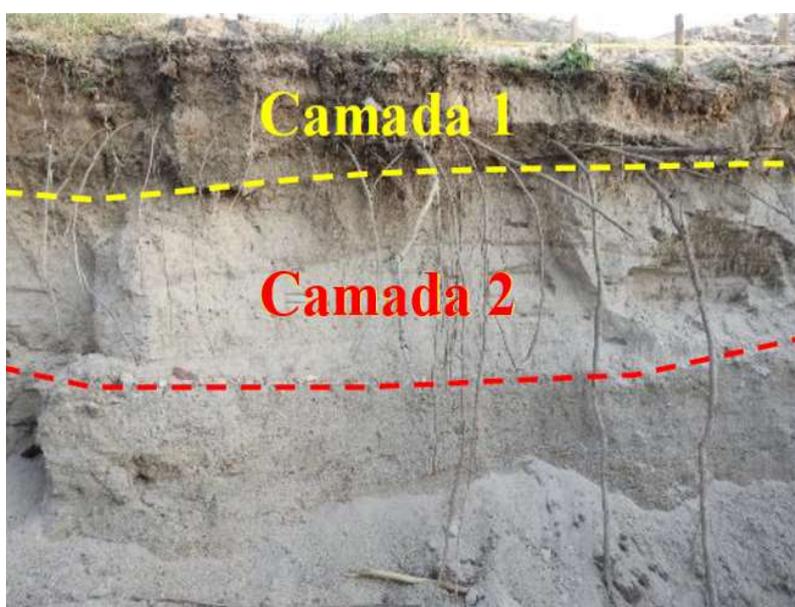


Fonte: Rabelo (2018)

A distribuição granulométrica do perfil do solo aluvionar evidenciou a presença de quatro camadas de solo de classificações distintas. Nesse contexto, para o caso particular desse trabalho, serão analisadas as duas primeiras camadas quanto ao seu comportamento no tocante a retenção do corante.

Com o auxílio de uma trena, foi possível estabelecer a espessura de cada camada do perfil. Sendo assim, a Camada 1 (CM1) apresentou 52 cm e a Camada 2 (CM2) oscilou de 17 a 81 cm, como especificado na Figura 9 (Rabelo, 2018).

Figura 9: Perfil das camadas de solo aluvionar utilizadas



Fonte: Rabelo (2018)

1.13 CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA DO SOLO ALUVIONAR

As análises de caracterização físico-químicas para as duas camadas do solo aluvionar podem ser observadas na Tabela 1. Segundo Rabelo (2018), a textura da camada 1 e da camada 2 é do tipo areia franca e areia, respectivamente.

Tabela 1 – Características das camadas 1 e 2

CAM	Distribuição das partículas %				pH		Composição Orgânica	
	Arg	Silt	Areia	CT	Água	KCL	CO	MO
1	7,03	10,55	82,42	A. Franca	8,26	6,87	1,26	2,17
2	2,34	3,52	94,14	Areia	6,00	5,48	0,97	1,67

Fonte: Adaptado de Rabelo (2018).

A análise visual permitiu a identificação de areia nas duas camadas e presença de matéria orgânica devido a resíduos de plantas na camada superior, na Tabela 1, a CM1 apresentou maior proporção de partículas finas, mas apresentando ainda parcela de areia bastante representativa, classificando essa camada como Areia Franca. A CM2 apresentou maior proporção de areia, classificando-a como Areia.

O pH foi determinado em água e em KCl, conforme estabelece o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997). Estes resultados foram maiores do que os teores de pH em KCl, induzindo a uma acidez dos solos analisados. Tais resultados corroboram com a salinização da área de estudo por estar inserida em uma região semiárida com altos índices de seca e erosão do solo, além de que, os valores mais altos da CM1 são influenciados pela presença de matéria orgânica nesta camada.

O Carbono Orgânico (CO) foi determinado e a Matéria Orgânica (MO) foi calculada multiplicando-se o resultado do CO pelo fator de 1,724 (EMBRAPA, 1997). A CM1 apresenta maior composição de MO (matéria orgânica) e é explicado devido à presença de resíduos de galhos secos, plantas e animais.

1.14 SOLUÇÃO DE CORANTE

No intuito de simular as condições reais de processo de tingimento empregadas nas indústrias têxteis, a solução de VD CL-5B gr 125 (Vermelho Drimaren) foi submetida inicialmente à hidrólise. Nesse procedimento, o pH inicial da solução foi ajustado para $11,0 \pm 0,05$ com adição de hidróxido de sódio na concentração de 20% (m/v). Essa solução foi aquecida por um período de 60 minutos, a temperatura de 80 ± 10 °C, e mantida sob agitação em agitador magnético.

Após a agitação, a solução foi esfriada a temperatura ambiente e o pH foi ajustado com adição de ácido sulfídrico (0,1N) para $5,0 \pm 0,05$. Procedimentos semelhantes de

hidrólise foram verificados nos trabalhos de Cunico, Kumar e Fungaro (2015) e Albuquerque *et al.* (2005).

Segundo Vieira (2007), o VD CL-5B possui massa molecular 400,38 Da e sua fórmula é $C_{20}H_{13}N_2NaO_4S$. Foram preparados 6L de solução, sendo 3,6L para o ensaio de cinética e 2,1L para o ensaio de isoterma, a concentração inicial adotada foi de 100mg/L, concentração semelhante a Vieira (2007), Silva (2015), Khan *et al* (2010) e Srinivasan & Sadasivam (2018).

1.15 PONTO DE CARGA ZERO

Segundo Werneck *et al.* (2018), pontos de carga zero são valores de pH nos quais um ou mais dos componentes de superfície zeram. O ponto de carga zero varia de acordo com a formação de complexos com cátions na superfície aumentando o PCZ, enquanto a formação de complexos com ânions decresce o PCZ. A partir do PCZ podemos definir a predominância da carga superficial do adsorvente.

Superfícies carregadas positivamente favorecem a adsorção de espécies aniônicas, enquanto que superfícies carregadas negativamente favorecem a adsorção de espécies catiônicas (DAWODU; AKPOMIE, 2016).

Alexandre *et al* (2020), afirma que o valor do PCZ é essencial para esse tipo de estudo. Os resultados do PCZ foram 5,02 para a camada 1 e 6,05 para a camada 2, o que indica que ambos os solos são ácidos.

1.16 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

Para o estudo cinético será preparada uma solução de VD a $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Essa concentração inicial está dentro da faixa de concentração de corantes nos efluentes têxteis apontado por Castro (2018) e Feifei Lu *et al.* (2019).

A solução será distribuída em frascos do tipo âmbar seguindo a proporção solo/solução ($\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) de 1:10 (5 g de solo e 50 ml de solução). Essa relação de soluto e solução será utilizada em trabalhos de cinética e isoterma envolvendo solos e contaminantes (ALEXANDRE, 2019; GONDIM, 2014; MILFONT *et al.*, 2008a; MARTINS; MERMOUD, 1998).

As amostras serão preparadas em triplicata e agitadas em mesa agitadora a 150 rpm em tempos predeterminados (0; 10; 20; 30; 60; 120; 180; 240; 360; 420; 480), esses tempos foram viabilizados conforme disponibilidade do laboratório atendendo todas as recomendações e precauções quanto ao combate do Corona Vírus. Nesses tempos pré-estabelecidos, as amostras serão retiradas do agitador e filtradas em filtro de membrana de ésteres de a 0,45 µm. A quantificação da concentração do corante nas amostras será avaliada através da leitura de absorvância no comprimento de onda identificado pela varredura, adotando o comprimento de 542/520 nm, como especificado por Silva (2008), sendo convertido em mg·l⁻¹ através da curva analítica.

1.17 ISOTERMA DE ADSORÇÃO

Os ensaios de isoterma serão conduzidos de forma semelhante à cinética de sorção mantendo-se a proporção de 5 g de solo para 50 ml de solução. As amostras serão preparadas em triplicata nas concentrações de 10; 25; 40; 55; 70; 85; 100mg·l⁻¹, agitadas em mesa agitadora a 150 rpm até tempo de equilíbrio, tempo esse que será determinado pelo ensaio de cinética, determinado no ensaio de cinética e filtradas a 0,45 µm. Finalmente, as concentrações do corante nas amostras serão determinadas pela leitura de absorvância.

1.18 MODELAGEM PARA OS ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Os resultados do estudo cinético serão ajustados aos modelos pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intra-partícula através de planilhas do excel.

A equação Pseudo-primeira ordem é expressa conforme Equação 5 (LAGERGREN, 1898):

$$\log(S_{e1} - S_t) = \log S_{e1} - \frac{k_1}{2,303} t \quad (5)$$

Em que S_{e1} e S_t são as quantidades de corante adsorvido por massa de solo (mg·kg⁻¹) no equilíbrio e no tempo t (h), respectivamente, e k_1 é a constante de pseudo-primeira ordem (h⁻¹).

O modelo de Pseudo-segunda ordem é expressada pela Equação 6 (HO; MCKAY, 1999):

$$\frac{t}{S_t} = \frac{1}{k_2 S_{e2}^2} + \frac{1}{S_{e2}} t \quad (6)$$

Em que S_{e2} é a quantidade de corante adsorvido por massa de solo ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para o modelo de segunda ordem e k_2 é a constante do modelo de Pseudo-segunda ordem ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$).

O valor da regressão linear (R^2) será utilizado para avaliar o melhor modelo ajustado. Quanto mais próximo o R^2 estiver da unidade, melhor se ajustará ao modelo cinético.

As isotermas de sorção serão ajustadas aos modelos de Freundlich e Langmuir, através de planilhas do Excel, para investigar os mecanismos no processo de adsorção.

Em concentrações ambientais, a isoterma de adsorção de poluentes orgânicos no solo, pode, frequentemente, ser expressa pelo modelo linear, representada conforme a equação da isoterma de Freundlich (Equação 8) (FEBRIANTO et al., 2009):

$$\log(S_e) = \log(K_F) + \log(C_e)/n \quad (8)$$

Em que C_e é a quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), C_e é a concentração remanescente de VD na solução em equilíbrio ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) e K_F é a constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg}^{1-(1/n)}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{L}^{1/n}$), $1/n$ é a constante relacionada à heterogeneidade da superfície.

A constante k está positivamente relacionada com a extensão ou grau de adsorção, enquanto a constante n fornece uma estimativa aproximada da intensidade de adsorção (ALBANIS et al., 2000).

A equação da isoterma de Langmuir (LANGMUIR, 1916), pode ser representada de forma linearizada como na Equação 9 (ITODO; ITODO; GAFAR, 2010):

$$\frac{C_e}{S_e} = \frac{C_e}{S_{max}} + \frac{1}{S_{max}K_L} \quad (9)$$

Em que S_e é a quantidade de soluto adsorvido no equilíbrio ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), S_{max} é a capacidade máxima de adsorção ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), K_L é a constante de interação adsorvato/adsorvente.

O valor da regressão linear (R^2) será utilizado para avaliar o melhor modelo ajustado. Quanto mais próximo o R^2 estiver de um, melhor se ajustará ao modelo isotérmico.

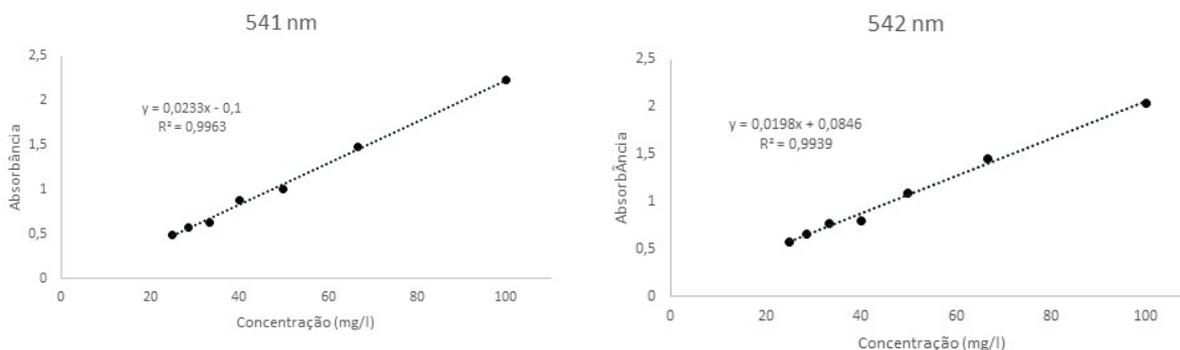
RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.19 ENSAIOS DE SORÇÃO

1.19.1 CURVAS DE CALIBRAÇÃO DA SOLUÇÃO DO VD

O comprimento de onda para o VD CL-5B varia na faixa 542/520 nm. No comprimento de onda de 541nm foi construída uma curva de calibração da solução do corante e para a solução no comprimento de onda de 542 nm foi construída outra curva da solução (figura 10). As curvas foram obtidas variando as concentrações (100, 66,67, 50, 40, 33,33, 28,57 e 25 mg/l). Através desta curva de calibração e com a equação da reta correspondente, quantificou-se a concentração final do VD em cada ponto.

Figura 10 – Curvas de calibração para os comprimentos de ondas: a) 541nm; b)542nm.

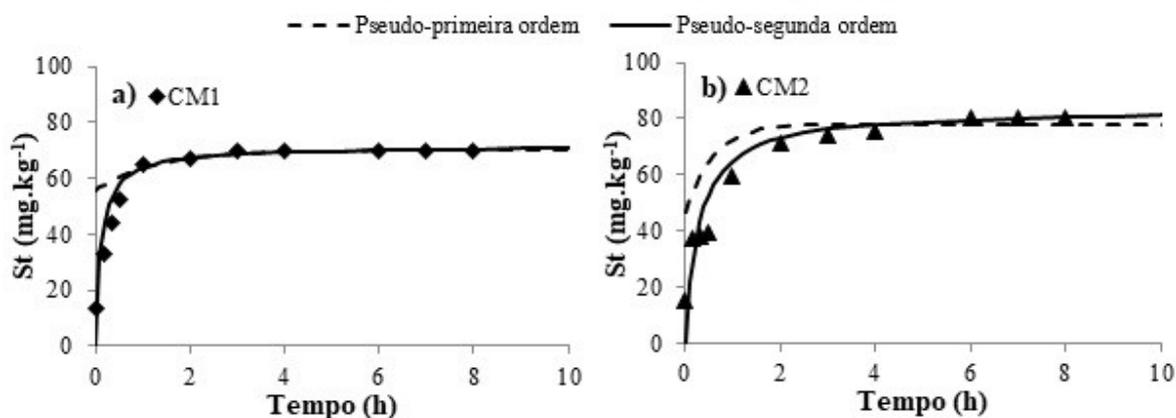


Fonte – Autor (2021)

1.19.2 CINÉTICA DE SORÇÃO

O experimento de cinética foi conduzido com o intuito de determinar o tempo em que a sorção do VD atinge o equilíbrio nas camadas de solo. Os intervalos de tempo utilizados foram 0, 0,166, 0,33, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 horas. Esses tempos foram viabilizados conforme a disponibilidade do laboratório quanto a pandemia do Corona Vírus. A cinética de sorção para a CM1 é mostrada na Figura 11.

Figura 11 – Curva da cinética de sorção: a) CM1; b) CM2.



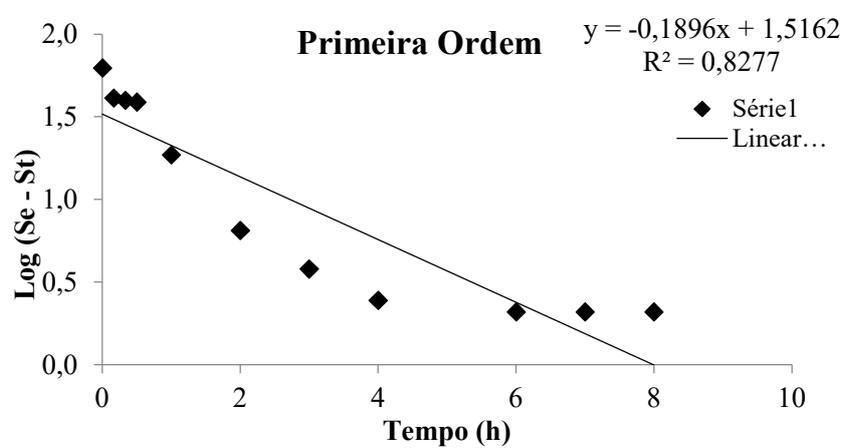
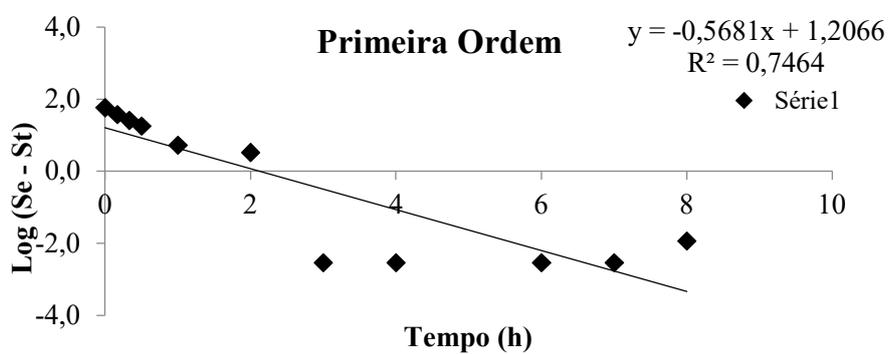
Fonte – Autor (2021)

Nota-se que para a CM1 o tempo de equilíbrio foi de 3 horas, tendo adsorvido aproximadamente uma quantidade de VD CL-5B de 70 mg/kg.

Para a CM2 o tempo de equilíbrio encontrado foi de 6h, tendo adsorvido uma quantidade de VD de aproximadamente 80 mg/kg. Esses resultados indicam que o VD CL-5B tem um maior potencial de ser adsorvido na camada 2 do que na camada 1, mesmo com a CM1 tendo maior teor de matéria orgânica.

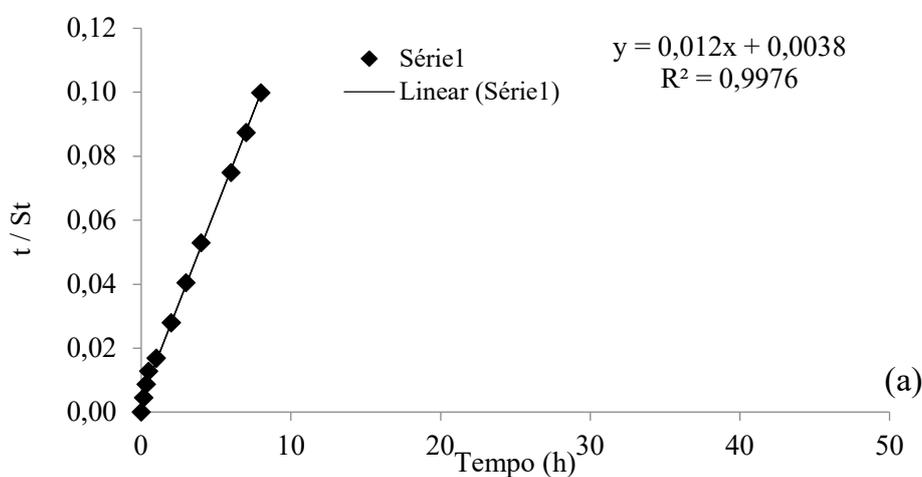
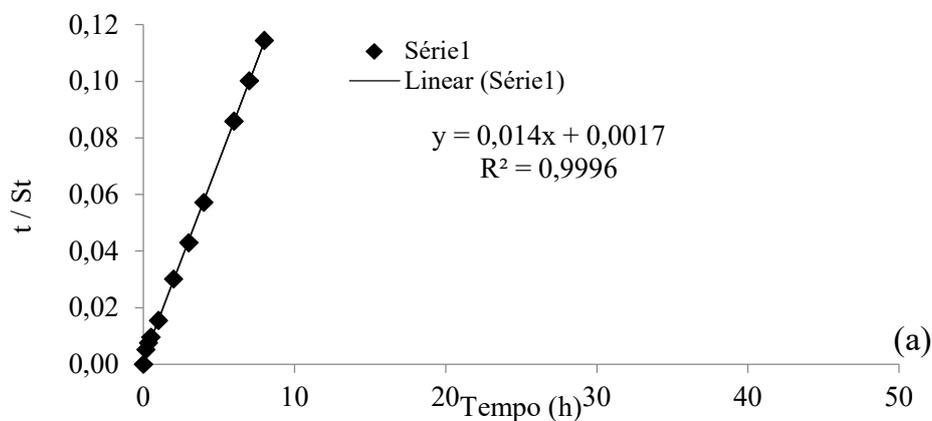
Os parâmetros cinéticos são determinados a partir dos modelos de primeira e segunda ordem. Os gráficos $\log (Se-St)$ versus t indicam a aplicabilidade do modelo de primeira ordem (Figura 12) e os gráficos lineares de t/St versus t indicam a aplicabilidade do modelo de segunda ordem (Figura 13).

Figura 12– Modelo de Primeira Ordem: a) CM1; b) CM2



Fonte – Autor (2021)

Figura 13– Modelo de Segunda Ordem: a) CM1; b) CM2.



Fonte – Autor (2021)

Os resultados para os modelos cinéticos de primeira e segunda ordem das taxas constantes de sorção k_1 e k_2 são apresentadas na Tabela 2, junto as capacidades de sorção em equilíbrio e os coeficientes de determinação (r^2).

Tabela 2 – Resumo de parâmetros dos modelos de cinética

	Camada	Capacidade de sorção	Taxa de sorção	Coef. Determinação
1a ordem	1	Se1 = 14,9	$k_1 = 0,789$	$R^2 = 0,7464$
	2	Se1 = 31,59	$k_1 = 1,764$	$R^2 = 0,8277$
2a ordem	1	Se2 = 71,43	$k_2 = 0,115$	$R^2 = 0,9996$
	2	Se2 = 83,33	$k_2 = 0,042$	$R^2 = 0,9976$

Fonte – Autor (2021)

Os valores das capacidades de sorção em equilíbrio reiteram a maior afinidade de sorção do VD com a CM2, uma vez que tanto para o modelo de primeira ordem quanto para o de segunda ordem os valores de Se_1 e Se_2 foram maiores para essa camada.

O modelo de primeira ordem não se ajustou bem aos dados quando analisados os valores de R^2 em relação ao modelo de segunda ordem, em que estão muito próximos da unidade mostrando um excelente ajuste.

Tais resultados também foram encontrados em outros estudos quanto a escolha do modelo. Alexandre (2019) analisou o DB22 com as mesmas camadas e o modelo de segunda ordem se ajustou muito melhor que o modelo de primeira ordem, algo similar a Rabelo (2018) com as mesmas camadas e analisando a sulfadiazina encontrou que para ambas as camadas o modelo de segunda ordem se melhor ajusta. Barros (2019) estudou os metais pesados em tal solo e confirmou que tanto para os dados de adsorção do cádmio quanto os dados de adsorção do cobre o modelo de segunda ordem se ajusta melhor.

Os valores de tempo escolhido para a agitação das isotermas para a camada 1 foi de 3h e para a camada 2 foi de 6h. Castro et. al. (2018) obtiveram um tempo de equilíbrio de 3,75h para o mesmo corante vermelho, porém utilizando a argila branca como adsorvato.

1.19.3 ISOTERMA DE SORÇÃO

Os ensaios de isotermas de sorção foram realizados em triplicata para as camadas 1 e 2 do solo. Na isoterma variou-se as concentrações da solução de VD para agitação no tempo de equilíbrio encontrado no ensaio da cinética para cada camada (3h para a CM1 e 6h para a CM2).

Os parâmetros utilizados para as modelagens das isotermas nos ajustes linear tanto de Freundlich quanto de Langmuir, são mostrados na tabela 3. Os ajustes se apresentaram confiáveis, uma vez que o R^2 deu maior que 0,94. No modelo de Freundlich também vale analisar o valor de n_f , que indica a intensidade de sorção entre adsorvente e solução, sendo para ambas as camadas com um valor maior que 0,5, ou seja, a adsorção é favorável.

Tabela 3 – Parâmetros de ajustes dos modelos de isoterma

Modelo de ajuste	Parâmetros	CM1	CM2
Freundlich	KF	0,028634	0,029868
	nf	0,606665	0,624418
	R ²	0,960675	0,970081
Langmuir	KL	-0,00819	0,9658
	Sml	-21,9739	-33,6221
	R ²	0,9964	0,9658

Fonte – Autor (2021)

No entanto, como os valores de KL no modelo de Langmuir deram negativos para ambas as camadas, ele deve ser descartado. Para o modelo de Freundlich, considera-se que os valores de n_F traduzem a intensidade de sorção, sendo maiores que 0,5 o processo será favorável, e os valores de k_F indicam a capacidade de adsorção do adsorvente (KHAN *et al.*, 2018). Pela Tabela 3, infere-se que ambas as camadas apresentam condição favorável para a adsorção, uma vez que seus valores de n_F são iguais a 0,6067 e 0,6244 para as CM1 e CM2, respectivamente. No entanto, interpreta-se que a CM2 apresenta melhor desempenho por possuir valor de n_F maior. Além disso, a CM2 ainda apresenta maior valor de k_F ($0,0299 \text{ L.mg}^{-1}$) em comparação à CM1 ($0,0286 \text{ L.mg}^{-1}$).

Segundo Amosa *et. al.* (2016), os valores deste parâmetro quando são negativos ou muito próximos a zero, não possuem significado físico válido e assim tornando o modelo inaplicável a esses dados experimentais.

Freundlich se torna o melhor modelo para os dados experimentais apresentados. Além disto, os valores de n_F e K_F serem maiores para a camada 2 confirmam os resultados de cinética, em que a camada 2 adsorveu melhor o VD.

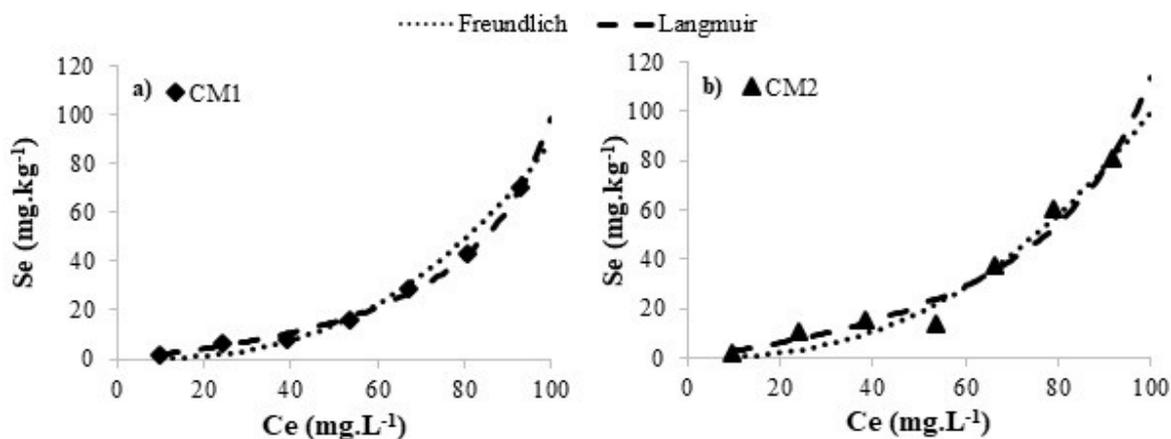
Wanyonyi *et. al.* (2004), encontraram para a adsorção do Congo Red que o modelo de Freundlich foi o mais aplicável para a obtenção dos parâmetros de equilíbrio quando usado a solução com raízes secas de *EichhorniaCrassipes*.

Ahmad *et. al.* (2015), utilizaram o carvão ativado mesoporoso de durian (DSAC) como adsorvente para a remoção do corante methylred (MR). Os dados experimentais foram analisados por oito modelo, entre eles o de Freundlich que foi o que melhor se ajustou aos dados de adsorção.

Barros (2019) também encontrou que o modelo de Freundlich se adequou melhor aos dados experimentais utilizando metais pesados no mesmo tipo de solo que o presente estudo. De forma similar, Alexandre (2019) utilizou o corante Direct Black 22 e Silva (2020) utilizando Zinco e Cromo, concluíram que o modelo de Freundlich era o que melhor se adequava para esse tipo de estudo. Bachratá (2013), analisaram a sorção de corantes sintéticos em solos aluvionares e chegaram à conclusão que o modelo de Freundlich se adequava melhor a esses tipos de dados experimentais.

Na Figura 14 são apresentados os ajustes lineares para a isoterma de sorção do VD, para CM1 e CM2 respectivamente. Delas pode inferir que os modelos, em sua maioria, se ajustaram bem aos dados da pesquisa para as duas camadas.

Figura 14– Ajustes de Freundlich e Langmuir: a) CM1; b) CM2.



Fonte – Autor (2021).

CONCLUSÕES

Neste estudo foram analisadas as interações físico-químicas e os mecanismos envolvidos entre o poluente emergente, o corante Vermelho Drimaren, nas camadas de solo aluvionar, extraído do Alto do Capibaribe, característico no semiárido brasileiro.

Diferente de alguns estudos anteriores com o mesmo perfil de solo, o VD possuiu maior afinidade com a camada inferior quando se comparada a camada superior como mostrado nos resultados.

Quanto aos estudos cinéticos, o modelo que melhor descreveu foi o de pseudo-segunda ordem para ambas as camadas, sendo o R^2 sempre muito próximo da unidade e assim evidenciando um excelente ajuste.

Para as isotermas, o modelo de Freundlich se mostrou o que mais se ajustou aos dados experimentais, com o R^2 muito próximo da unidade.

O corante Vermelho Drimaren se apresenta como um poluente preocupante por ficar mais retido na segunda camada e dessa forma poder atingir com mais facilidade os corpos hídricos da região.

Como esse estudo foi desenvolvido em meio a uma pandemia, as limitações quanto ao uso do laboratório diminuíram as quantidades de amostras, portanto como sugestões a trabalhos futuros fica a possibilidade da utilização de filtros que retenha mais a carga poluente do corante, como a utilização de biochar por exemplo.

REFERÊNCIAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. **Perfil do Setor**, 2018. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 11 set. 2019.

ABREU, M. C. S.; SILVA FILHO, J. C. L.; OLIVEIRA B. C.; HOLANDA JÚNIOR, F. L. Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina. **Gestão & Produção**, v.15, n.1, p.159-172, 2008.

AHMAD, M. A; AHMAD, N; BELLO, O. S. Modified durian seed as adsorbent for the removal of methyl red dye from aqueous solutions. **Appl Water Science**, v 5, p. 407-423, 2015.

ALBANIS, T. A; HELA, D. G; SAKELLARIDES, T. M; DANIS, T. G. REMOVAL OF DYES FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY ADSORPTION ON MIXTURES OF FLY ASH AND SOIL IN BATCH AND COLUMN TECHNIQUES. **Global Nest: the Int. J**, v. 2, n. 3, p. 237-244, 2000.

ALBUQUERQUE, C. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. Recarga de aquífero aluvial sob uso agrícola. **Águas Subterrâneas**, v.29, n.1, p.60-71, 2015.

ALCANTARA, M. R. A; DALTIM, D. A. A. Química do Processamento Têxtil. **Química Nova**, v.19, n.3, 1996.

ALEXANDRE, J. I. S. **SORÇÃO DO CORANTE DB22 EM SOLO ALUVIONAR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UFPE, Caruaru, 2019.

ALEXANDRE, J. I. S; NETO, S. M. S. COUTINHO, A. P; MELO, T. A. T; GONÇALVES, E. A. P. GONDIM, M. V. S; ANTONINO, A. C. D; RABELO, A. E. C. G. C; OLIVEIRA, A. L. Sorption of the Direct Black 22 dye in alluvial soil. **Ambiente & Água**. Doi: 10.4136.

ALVES, A. T. A. **RETENÇÃO E MOBILIDADE DO CORANTE REMAZOL BLACK B EM SOLOS ALUVIONARES DO ALTO DO CAPIBARIBE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UFPE, Caruaru, 2019.

ALVES, A. T. A; SILVA, L. T. M. S; ALCANTARA, L. R. P; BARROS, V. H. O; NETO, S. M. S; LIMA, V. F; LIMA, J. R. S; COUTINHO, A. P; ANTONINO, A. C. D. Sorption of Remazol Black B dye in alluvial soils of the Capibaribe River Basin, Pernambuco, Brazil. **Ambiente & Água**. Doi: 10.4136.

AMOS, M. K.; JAML, M. S.; ALKHATIB, M. F. R.; TAJARI, T.; JIMAT, D. N.; OWOLABL, R. U. Turbidity and suspended solids removal from high-strength wastewater using high surface area adsorbent: Mechanistic pathway and statistical analysis. *Cogent Engineering*, v.3, p.1–18, 2016.

ARAÚJO, C. A. L.; PERREIRA, C. F. **A indústria de confecções em Pernambuco: impactos e oportunidades em um cenário pós-ATC (Acordo sobre Têxteis e Confecções)**. In: XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, novembro, 2006.

ARAÚJO, T. **Jornal do Comércio**. Disponível em: <<https://jc.ne10.uol.com.br/economia/2020/04/5604958-governo-de-pernambuco-vai-oferecer-material-tecnico-para-o-polo-textil-do-agreste-produzir-equipamentos-de-protecao-ao-coronavirus.html>>. Acesso em 06 de abril de 2020.

BERGMANN, C. R. **ESTUDO EXPERIMENTAL E ANALÍTICO DO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EM SOLO COM FINOS**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, 2016.

BOOKER, J., QUIGLEY, R., ROWE, R. (1995). *Clayey Barrier Systems for Waste Disposal Facilities*. London: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9781482271928>

BOURAI, Mohamed El; DIN, Walaa Salah El. Biodegradation of Reactive Black 5 by *Aeromonas hydrophila* strain isolated from dye-contaminated textile wastewater. **Sustainable Environment Research**, v. 26, n. 5, p.209-216, 2016.

BRAGA, R. A. P. *et al.* **Gestão e educação socioambiental na Bacia do Capibaribe**. Recife: Clá, 2015. 140 p.

BRANCO, O. E. A.; LEAL, F. C. T.; SILVA, J. B. G.; PAIVA, L. E. D.; GOMES, A. C. R.; CARVALHO, A. L.; PESSOA, G. M.; CÂNDIDO, V. B. R. **SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DO TRANSPORTE DE CONTAMINANTES NO SOLO E EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: METODOLOGIA DE SCREENING APLICADA AO GERENCIAMENTO DE ATIVIDADES POTENCIALMENTE POLUIDORAS**. III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juíz de Fora – MG, agosto de 2018.

CASTRO, A. S.; FRANCO, C. R.; CIDADE, M. J. A. Adsorção de Corantes Azul Indosol, Laranja Indosol e Vermelho Drimaren em Solução Aquosa por Argila Branca. **Revista Virtual de Química**, v,10, n,5, p, 1502-1515, 2018.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S.; ALMEIDA, C. N.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M.; GUSMÃO, A. C. V.; FREITAS, E. S.; MONTENEGRO, A. A. A. Alluvial groundwater recharge estimation in semi-arid environment using remotely sensed data. **Journal of Hydrology**, v.548, p.1-15, 2017.

COSTA, C. T.; ANTONINO, A. C. D.; NETTO, A. M. Ensaios de deslocamento de líquido miscível na determinação dos parâmetros hidrodispersivos de um solo aluvial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, n.2, p.111-122, 2006.

CUNICO, P.; KUMAR, A.; FUNGARO, D. A. Adsorption of Dyes from Simulated Textile Wastewater onto Modified Nanozeolite from Coal Fly Ash. **Journal of Nanoscience and Nanoengineering**, v. 1, n. 3, p. 148-161, 2015.

DALLAGO, R. M; SMANIOTTO, A; OLIVEIRA, L. C. A. RESÍDUOS SÓLIDOS DE CURTUMES COMO ADSORVENTES PARA A REMOÇÃO DE CORANTES EM MEIO AQUOSO. **Química Nova**, v. 28, n.3, p. 433-437. 2005.

DANESHVAR, N; SALARI, D; KHATAEE, A. R. PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF AZO DYE ACID RED 14 IN WATER ON ZNO AS AN ALTERNATIVE CATALYST TO TIO₂. **JournalofPhotochemistryandPhotobiology A: Chemistry**, v.162, p. 317-322. 2004.

DAWODU, M.O.; AKPOMIE, K. G..Evaluating the potential of a Nigerian soil as an adsorbent for tartrazine dye: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. **Alexandria Engineering Journal**, v. 55, n. 4, p.3211-3218, dez. 2016.

DIEESE - Diagnóstico do Setor Têxtil e Confecções de Caruaru e Região. SEJE/DIEESE: Recife – PE. Relatório de Pesquisa. Disponível em: <http://www.dieese.org.br/relatoriotecnico/2010/diagnosticoFinalCaruaru.pdf>. Acesso em: 6 de abril de 2020

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. ISSN1517-5219. 2000.

FERREIRA, E. S. B.; HULME, A. N.; MCNAB, H.; GUYE, A. The natural constituentsofhistoricaltextiledyes. **Chemical Society Reviews**. V.33, n 6. p. 329-336. 2004.

FERREIRA, M. O.; VASCONCELOS, K. S. L. Estimativa de demanda pela formalização da economia informal no Agreste Pernambucano: Uma aplicação do método de valoração contingente. **Anais: I Circuito de debates Acadêmicos – CODE**, Brasília-DF, outubro, 2011.

FERREIRA, P. P. Corantes Drimaren CL. **Química Têxtil**- Órgão Oficial da Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis. Ano XXII. Março, 1999.

FEYFEY LU; AIQIN DONG; GUINJUN DING; KE XU; JUMEI LI; LIJUN YOU. Magneticporouspolymercomposite for high performance adsorptionofacidred 18 basedonmelamineresinandchitosan. **Journalof Molecular Liquids**. Doi: 10.1016. 2019

FREUNDLICH, H; HELLER, W. The adsorption of cis- and trans-azobenzene, **J. Am. Chem. Soc.**, v. 61, p. 2228–2230. 1939.

GANODERMAIERI, G., CENNAMO, G., SANNIA, G. **RemazolBrilliant Blue R decolourisationbythefungusPleurotusostreatusand its oxidativeenzymatic system, Enzymeand Microbial Technology**. V. 36, p.17-24. 2005.

GILBERT, K. G.;COOKE, D. T.; Dyesfromplants: Pastusage, presente understandingand potencial. **PlantGrowthRegulation**; V. 34, N.1, p. 57-69. 2001.

GONDIM, M. V. S. **ESTUDO DAS TRANSFERÊNCIAS E TRANSFORMAÇÕES DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM SOLOS NO CONTEXTO TROPICAL E TEMPERADO**. 2014. 133 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

GONÇALVES, M; OLIVEIRA, L. C. A; GUERREIRO, M. C. Nióbia magnética como adsorvente de contaminantes orgânicos em meio aquoso: Efeito da temperatura e do pH. **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 518-522. 2008.

GUARATINI, C. C. I. ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1. 2000.

Gwenzi W, Chaukura N, Mukome F N D, Machado S, Nyamasoka B. Biochar production and applications in sub-Saharan Africa: Opportunities, constraints, risks and uncertainties. *J Environ Manage.* 150: 250–261. 2015.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998.

HO, Y. S.; MCKAY, G. The sorption of lead(ii) ions on peat. **Wat. Res.**, v. 33, p. 578-584. 1999.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. **Divisão Político Administrativa do Semiárido Brasileiro, 2017.** Disponível em: https://portal.insa.gov.br/images/imagens-noticias/2017/11/MAPA_POLITICO.pdf. Acesso em: 02 ago. 2019.

KHAN, H., AHMAD, N., YASAR, A., SHAHID, R. Advanced Oxidative Decolorization of Red CI-5B: Effects of Dye Concentration, Process Optimization and Reaction Kinetics, **Polish Journal of Environmental Studies**, v.19, n.1, p.83-92, 2010.

KHEHRA, M. S; SAINI, H. S; SHARMA, D. K; CHADHA, B. S; CHIMNI, S. S. BIODEGRADATION OF AZO DYE C.I. ACID RED 88 BY NA ANOXIC-AEROBIC SEQUENTIAL BIOREACTOR. **Dyes and Pigments**, v.70, p.1-7. 2006.

KHELIFI, E., AYED, L., BOUALLAGUI, H., TOUHAMI, Y., HAMDY, M, Effect of nitrogen and carbon sources on indigo and congo red decolorization by *Aspergillus alliaceus* strain 121C, *Journal of Hazardous Materials*, Tunis, p. 1056-1062. 2009

LAGERGREN, S. On the theory of so-called adsorption dissolved substances. **Handlingar Band**, v. 24, p. 1-39. 1898.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of Soil Physics**. New York: Marcel Dekker, 2004.

Lehmann, J., 2007. A handful of carbon. *Nature* 447, 143–144.

LIMA, L.R; SAMPAIO, Y.S.B. **Custos Ambientais e a externalidade negativa das lavanderias têxteis do polo de confecção do Agreste de Pernambuco**. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 19, 2017, Anais, São Paulo: Editora USP, 2017, p. 1-16.

LOESCH, C. **DETECÇÃO E DIAGNÓSTICO DE IRREGULARIDADES NA INDÚSTRIA DE FIAÇÃO TÊXTIL**. Tese (Doutorado). Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, 1995.

MARTINS, J. M. F.; MERMOUD, A. Transport of rimsulfuron and its metabolites in an alluvial soil. **Journal of Contaminant Hydrology**, v. 33, p. 187-210. 1998.

MEEHAN, C., BANAT, IM., MCMULLAN, G., NIGAM, P., AMYTH, F., MARCHANT, R., Decolorization of Remazol Black B using a thermotolerant yeast, *Kluyveromycesmarxianus* IMB3, *Environ Int* 26, p.75-79. 2006.

MILFONT, M. L. *et al.* Reactivity of the Plant Growth Regulator Paclobutrazol (Cultar) with Two Tropical Soils of the Northeast Semiarid Region of Brazil. **Journal Of Environment Quality**, v. 37, n. 1, p.90, 2008a.

NASCENTES, C. R. **COEFICIENTE DE DISPERSÃO HIDRODINÂMICA E FATOR DE RETARDAMENTO DE METAIS PESADOS EM SOLO RESIDUAL COMPACTADO**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa – Mg, 2003.

NASCIMENTO, L. X; ARAÚJO, R. T; ALVAREZ, L. D. G. Contaminantes Orgânicos Emergentes: Impactos y Soluciones para laSalud Humana y elMedio Ambiente. **RECyT**, ano 17, n. 24, p. 28-34, 2015.

NETO, S. M. S. **O EFEITO DA HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL DO SOLO NOS PROCESSOS DE TRANSPORTE DE POLUENTES EM ALUVIÃO DO RIO CAPIBARIBE/PERNAMBUCO**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

NOGUEIRA, L. A. H.; CAPAZ, R. S. (org.). **Ciências ambientais para engenharia**. Elsevier Editora, 1ª ed.. Rio de Janeiro – RJ. 2014.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CORREIA, J. M. F.; SILVA, P. C.; SANCHES, A. G. O.; LUCATO, W. C. CleanerProduction in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v.228, p.1514-1525, 2019.

Peixoto, F; Marinho, G; Rodrigues, K0. Corantes têxteis: Uma revisão. **Holos**, v.5, ano.29. 2013.

PERNAMBUCO. Secretária de Recursos Hídricos. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe**: TOMO II – Cenários Tendenciais e Sustentáveis/ Projetos Técnicos. Recife, 2010.

RABELO, A. E. C. G. **Retenção e mobilidade da Sulfadiazina em um aluvionar do Alto do Capibaribe**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco. Recife - PE, 2018.

RAIMUNDO, C.C.M. **Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.

REVANKAR, M. S.; LELE, S. S. Synthetic dye decolorization by White rot fungus, *Ganoderma* sp. WR-1. **Bioresource Technology**, v.98, n.4, p.775-780, 2007.

RITTER, E; ERLICH. M; BARBOSA, M. C. A difusão molecular no transporte de contaminantes através dos solos. **Anais do III Simpósio sobre Barragens de rejeitos e Disposição de Resíduos** – Ouro Preto – MG, p.409-424. 1995.

ROBLES, J. O.; REGALBUTO, J. R. **The engineering of Pt/Carbon catalyst preparation**. University of Illinois, Chicago, 2004.

RODRIGUES, A, I, P. **A tecelagem manual em Brasília: Uma investigação antropológica sobre o universo têxtil**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social. Universidade de Brasília. 2010.

ROSOLEN, L. A; MONTEIRO, R. T. R; DELLAMATRICE, P. M; KAMIDA, H. M. BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTEL E NOVE CORANTES TÉCNICOS UTILIZANDO FUNGOS BASIDIOMICETOS. **Química têxtil**, n. 76, p. 44-52. 2004.

SARAYU, K.; SANDHYA, S. Current Technologies for biological treatment of textile wastewater – A review. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.167, n.3, p.645-661, 2012.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Estudo econômico do Arranjo Produtivo Local de Confeccões do Agreste Pernambucano, 2012 – Relatório Final**. Recife - PE, 2013.

SILVA, M. V. A; SILVA, A. L; BRITO, D. J. M; BRANCO, D. K. S; FERREIRA, M. O. A QUESTÃO AMBIENTAL NO PÓLO DE CONFECÇÕES DE CARUARU: UM PRIMEIRO ENSAIO Á LUZ DOS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Revista Estudos do CEPE**, Santa Cruz do Sul, n.35, p. 108-132. 2012.

SILVA, R. F. **Degradação de Corante de Efluente Têxtil por Processo Oxidativo Avançado**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Química. UFPE. 2015.

SILVA, S. S; MAGALHÃES, F; SANSIVIERO, M. T. C. NANOCOMPÓSITOS SEMICONDUTORES ZNO/TIO₂. TESTES FOTOCATALÍTICOS. **Química Nova**, v. 33, n.1, p.85-89. 2010.

SINDITÊXTEL. Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil – Série P+L. São Paulo: 2009.

SRINIVASAN, S; SADASIVAM, S. K. Exploring docking and aerobic-microaerophilic biodegradation of textile azo dye by bacterial systems. **Journal of Water Process Engineering**, v. 22, p. 180-191, 2018.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 107, de 27 de julho de 2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Ministério da Integração Nacional: Recife, 2017b. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Resolucao-107-2017.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2019.

UMBUZEIRO, G. A. Organismos aquáticos são usados na detecção de contaminação por corantes. Entrevista concedida a Manuel Alves Filho. **Jornal da Unicamp**, Campinas, 25 de junho a 1 de julho de 2012.

VAN DER ZEE, F. P. **Anaerobic azo dye reduction**. Tese (Doutorado). Universidade de Wageningen. Holanda, 2002.

VIEIRA, F. D. P. **Descoloração e degradação de corantes têxteis por cianobactérias**. Monografia. UNESP, 2007.

Wanyonyi, W. C; Onyari, J. M; Shiundu, P. M. Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solutions Using Roots of *Eichhornia Crassipes*: Kinetic and Equilibrium Studies. **Energy Procedia**, v. 50, p. 862-869, 2014.

WERNECK, G. O; REIS, A. L; DANIEL, K, T; MELGAR, L. Z. Determinação do ponto de carga zero de adsorventes utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. **XV Congresso Nacional de Meio Ambiente**. Poços de Caldas, 2018.

WESTON, D. G. Alluvium and geophysical prospection. **Archaeological Prospection**, v.8, n.4, p.265-272, 2001.

YASAR, A; AHMAD, N; KHAN, A. A. A; KHAN, H; KHALID, M. Kinetic of UV, Fenton and PhotoFenton Processes for Decolorization of Various Red CL-5B Dye Concentrations. **Journal of Applied Sciences**, n.7, v.16, p;2339-2344. 2007.

ZANELLA, E.M. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de geografia**, v. especial, p. 125-142. 2014.