



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

ARISTÓTELES SANTOS DE LIRA

**ESTUDO DA CINÉTICA E DO EQUILÍBRIO DA ADSORÇÃO DE CORANTE
TÊXTIL SOBRE A FARINHA DE CASCA DE OVOS**

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

ARISTÓTELES SANTOS DE LIRA

**ESTUDO DA CINÉTICA E DO EQUILÍBRIO DA ADSORÇÃO DE CORANTE
TÊXTIL SOBRE A FARINHA DE CASCA DE OVOS**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientador(a): Prof. Dr. FERNANDO FERNANDES VIEIRA

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

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.

L768e Lira, Aristóteles Santos de.
Estudo da cinética e do equilíbrio da adsorção de corante têxtil sobre a farinha de casca de ovos [manuscrito] : / Aristoteles Santos de Lira. - 2018.
54 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2018.

"Orientação : Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira , Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Bioadsorvente. 2. Tratamento de efluentes. 3. Industria têxtil.

21. ed. CDD 660.284 235

ARISTÓTELES SANTOS DE LIRA

**ESTUDO DA CINÉTICA E DO EQUILÍBRIO DA ADSORÇÃO DE CORANTE
TÊXTIL SOBRE A FARINHA DE CASCA DE OVOS**

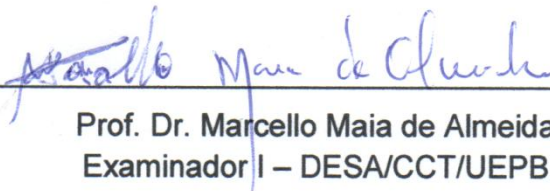
Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 27/06/2018.

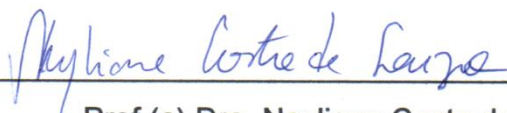
Nota: 9,8 (muito bom)



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira
Orientador – DESA/CCT/UEPB



Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida
Examinador I – DESA/CCT/UEPB



Prof.(a) Dra. Neyliane Costa de Souza
Examinador(a) II - DESA/CCT/UEPB

Aos meus pais, pela dedicação, companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Criador que, na sua misericórdia infinita, tem me dado saúde, força e inspiração para superar as dificuldades e nunca desistir.

Aos meus pais, Clodoaldo Augusto de Lira e Lucirene Santos de Lira, por todo apoio, amor, dedicação e empenho sempre concedidos durante toda minha vida.

Aos meus avós e tios, por toda ajuda, carinho e sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira, por toda dedicação e empenho na transmissão do conhecimento, paciência, compreensão e disponibilidade sempre que precisei.

Ao Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida e a Prof.(a) Dra. Neyliane Costa de Souza por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora e por todas as suas contribuições para o presente trabalho.

Aos profissionais da Divisão de Vitoria e Análise - DIVA da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de João Pessoa – SEMAM/PMJP, em especial ao Diretor Anderson Fontes, pela oportunidade concedida de poder estar ao lado de grandes profissionais do setor de licenciamento do Brasil. A Chefe da DIVA Márcia Martins e as Técnicas Janaina, Waleska e Zayne, por todos os ensinamentos e conselhos passados durante o período de estágio, que foram e serão de suma importância para minha vida profissional e desenvolvimento pessoal. Por todas as

chances que me deram de aprender e vivenciar, na pele, todos os desafios e dificuldades que os profissionais do setor de licenciamento passam no dia-a-dia, em prol da proteção e equilíbrio do meio ambiental da capital paraibana. Agradeço de coração a todos os profissionais da SEMAM/PMJP pela grande oportunidade de crescimento concedida.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

*A vida está cheia de desafios que, se aproveitados
de forma criativa, transformam-se em
oportunidades.”*

Marxwell Maltz

RESUMO

A revolução industrial, o avanço tecnológico e o atual sistema econômico predominante na sociedade mundial, vem gerando uma série de impactos ambientais ao redor do planeta. Oriundos do padrão de consumo desenfreado e descarte inadequado de resíduos no meio ambiente. Dentre os problemas ambientais causados pela industrialização, o gerenciamento de águas residuais, configura como um dos maiores desafios. Tendo em vista que a indústria têxtil é uma das que mais poluem no mundo, e ainda que, seus processos produtivos geram um grande volume de efluente com altas carga poluidora e elevado custo de reparação. Portanto, faz-se necessária a obtenção de alternativas viáveis e baratas para o tratamento desse tipo de efluente. Nesse contexto, o presente trabalho preparou um bioadsorvente, a partir da farinha da casca de ovos, e avaliou seu potencial de remoção do corante comercial (Bordô-16), utilizando a adsorção como processo de separação. Os resultados obtidos mostram que a farinha da casca do ovo é uma excelente alternativa para o tratamento de efluentes têxteis, com remoção de 86,91% do corante estudado. Foram avaliados ainda os modelos de cinéticos e de equilíbrio para uma melhor compreensão do processo de adsorção. O modelo cinético de pseudo-segunda ordem obteve um melhor ajuste aos dados experimentais. E a isoterma descrita pelo modelo de Sips, obteve um melhor desempenho para os ensaios de equilíbrio. De modo geral, podemos perceber que a farinha da casca do ovo se apresenta como uma alternativa bastante promissora para o tratamento de efluentes têxteis. Tendo em vista sua grande disponibilidade em todo território nacional, seu imenso potencial para remoção de poluentes têxteis e principalmente seu baixo custo de obtenção.

Palavras-chave: Bioadsorvente, Tratamento de efluentes, Indústria têxtil.

ABSTRACT

The industrial revolution, the technological advance and the current economic system prevailing in the world society, has generated a series of environmental impacts around the planet. They are based on the uncontrolled consumption pattern and the inappropriate disposal of waste in the environment. Among the environmental problems caused by industrialization, wastewater management is one of the biggest challenges. Considering that the textile industry is one of the most polluting in the world, and yet, its production processes generate a large volume of effluent with high pollution load and high repair cost. Therefore, it is necessary to obtain viable and inexpensive alternatives for the treatment of this type of effluent. In this context, the present work prepared a bioadsorbent from the eggshell flour and evaluated its commercial dye removal potential (Bordô-16), using adsorption as a separation process. The results show that egg shell flour is an excellent alternative for the treatment of textile effluents, with removal of 86.91% of the dye studied. The kinetic and equilibrium models were also evaluated for a better understanding of the adsorption process. The kinetic model of pseudo-second order obtained a better fit to the experimental data. And the isotherm described by the Sips model, obtained better performance for the equilibrium assays. In general, we can see that egg shell flour is a very promising alternative for the treatment of textile effluents. Considering its great availability throughout the national territory, its immense potential for the removal of textile pollutants and especially its low cost of obtaining.

Keywords: Bioadsorbent, Wastewater treatment, Textile industry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Configuração da cadeia têxtil..... | 14 |
| Figura 2 - Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e Sintéticos..... | 15 |
| Figura 3 – Comportamento de Isotermas de adsorção..... | 23 |
| Figura 4 – Classificação de isotermas de adsorção líquida, tipo II..... | 23 |
| Figura 5 - Adsorvente logo após processo de trituração..... | 31 |
| Figura 6 - Serie de diluições a partir da solução estoque do corante..... | 32 |
| Figura 7 – Curva de calibração do corante comercial (Bordô-16)..... | 35 |
| Figura 8 – Cinética de adsorção do corante comercial (Bordô-16)..... | 38 |
| Figura 9 - Biomassa após 60 minutos de agitação e solução após 30 minutos de centrifugação..... | 40 |
| Figura 10 - Ajuste dos modelos cinéticos à diferentes concentrações..... | 42 |
| Figura 11 – Dados experimentais ajustados as isotermas..... | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Absorbância observada para comprimento de onda entre 450nm – 550 com intervalo de 10nm..... | 33 |
| Tabela 2 - Absorbância obtida..... | 33 |
| Tabela 3 - Absorbância para diferentes concentrações..... | 34 |
| Tabela 4 - Quantidade de corante adsorvida e porcentagem de corante removida.. | 39 |
| Tabela 5 - Valores estimados dos parâmetros para os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem..... | 41 |
| Tabela 6 - Valores dos parâmetros e coeficiente de determinação do estudo das isotermas..... | 44 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 GERAL..... | 14 |
| 2.2 ESPECÍFICO..... | 14 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL..... | 15 |
| 3.1.1 Processos produtivos..... | 16 |
| 3.1.2 Corantes..... | 17 |
| 3.1.3 Tratamento de efluentes têxteis..... | 17 |
| 3.2 ADSORÇÃO..... | 19 |
| 3.2.1 Processos de adsorção..... | 19 |
| 3.2.2 Cinética de Adsorção..... | 21 |
| 3.2.3 Isotermas de Adsorção..... | 22 |
| 3.3 COMPOSIÇÃO DA CASCA DO OVO..... | 28 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 32 |
| 4.1 MATÉRIA PRIMA..... | 32 |
| 4.1.1 Adsorvente..... | 32 |
| 4.1.2 Adsorvato..... | 33 |
| 4.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO..... | 33 |
| 4.2.1 Levantamento do Comprimento de Onda..... | 34 |
| 4.2.2 Construção da Curva de Calibração..... | 35 |
| 4.3 ESTUDO DA ADSORÇÃO..... | 36 |
| 4.3.1 Cinética de Adsorção..... | 36 |
| 4.3.2 Isotermas de Adsorção..... | 37 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 39 |
| 5.1 ENSAIOS CINÉTICOS E MODELAGEM..... | 39 |
| 5.1.1 Ajustes dos Modelos Cinéticos..... | 42 |
| 5.2 ENSAIOS DE EQUILÍBRIO E MODELAGEM..... | 44 |
| 6 CONCLUSÃO | 47 |
| REFERÊNCIAS | 48 |

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de corantes têxteis é estimada em cerca de 10.000 t/ano, sendo seu descarte do meio ambiente desconhecido. Sabe-se que as perdas de produção giram em torno de 1 a 2%, enquanto as que envolvem a aplicação de 1 a 10%. Um pequeno percentual destes resíduos, de 10 a 50 mg L⁻¹ podem ser facilmente visíveis nos corpos aquáticos, impactando na estética, nível de transparência e a solubilidade de gases dos mesmos (SILVA, 2011).

Os processos têxteis exigem o consumo de grande quantidade de água e corantes sintéticos, estando entre os maiores geradores de efluentes líquidos. Assim, consomem cerca de 150 litros de água para produção de um quilo de tecido, sendo 88% do volume total produzido descartado como efluente líquido e os 12% restantes perdidos por evaporação (LEÃO et. al., 2002). O elevado consumo de água pela indústria têxtil, ocorre devido as operações de lavagem e beneficiamento dos fios e tecidos, e em decorrência da lavagem das plantas e equipamentos (FIEMG, 2014).

Além disso, seus efluentes líquidos apresentam intensa coloração, são ricos em compostos orgânicos e teor de sais inorgânicos. Um estudo demonstra que há a perda de 20% da carga de corantes nos resíduos das atividades de tingimento durante o processamento têxtil, e 50% da carga de corantes reativos nos banhos de tingimento (SILVA, 2011).

As características dos efluentes têxteis são variadas e dependem da tecnologia e do processo industrial utilizado, bem como do tipo de fibra e produtos químicos empregados. De modo geral, sua composição apresenta inúmeras substâncias tóxicas, e sua toxicidade se intensifica ainda mais, caso sejam oriundas das etapas de beneficiamento têxtil (FIEMG, 2014).

O lançamento desse tipo de efluente nos corpos aquáticos sem nenhum tipo de tratamento pode causar sérios problemas ambientais. A maioria das indústrias têxteis descartam efluentes coloridos que são responsáveis pela redução da fotossíntese nos corpos receptores, onde alguns, são dotados de grande potencial cancerígeno. Neste contexto, o tratamento destes efluentes são de primordial importância para assegurar a eficiência dos processos e garantir a proteção ao meio ambiente.

Existem diversas tecnologias de tratamento dos efluentes têxteis. Os processos de tratamento mais utilizados na indústria têxtil são fundamentados em processos de coagulação, seguidos de separação por flotação ou sedimentação que apresentam elevada eficiência para remoção de material particulado. Porém, tais técnicas mostram-se ineficientes para remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos. São utilizados também processos biológicos como o sistema de lodos ativados, mas que produzem grandes quantidades de lodo. Existem ainda processo de adsorção em carvão ativado que apresenta maior eficiência, no entanto, como a superfície química do carvão é positiva, limita a adsorção de corantes de origem catiônica (KUNZ, et al., 2002).

O processo de escolha deste estudo parte do princípio de adsorção que é denominada como a transferência de uma espécie da fase líquida para a superfície de um sólido. Esse sólido é chamado de adsorvente e o que vem da fase líquida para cima dele é o adsorvato. No entanto, ao invés do carvão ativado, faz-se de um material adsorvente obtido a partir da casca do ovo a fim de comprovar sua eficiência no tratamento dos efluentes têxteis.

Embora o carvão ativado seja o material adsorvente mais utilizado comercialmente, outros materiais alternativos como a casca de ovos estão sendo avaliados, no intuito de encontrar métodos cada vez mais eficazes, de baixo custo e ambientalmente responsáveis. Estudos como o de Espinosa et al (2015) tem citado a casca de ovo como um promissor biossorvente para a remoção de poluentes, como metais pesados, em águas residuais.

É preciso ressaltar que a relevância deste trabalho abrange a importância do reconhecimento do conceito de sustentabilidade, a fim de reduzir as ações do homem sobre o meio ambiente. A revolução industrial, o avanço tecnológico e o atual sistema econômico predominante na sociedade, vem gerando uma série de impactos ambientais ao redor do planeta, cujos problemas são oriundos do padrão de consumo desenfreado e descarte inadequado de resíduos no meio ambiente. Dentre os problemas ambientais causados pela industrialização, o gerenciamento de águas residuais, configura como um dos maiores desafios.

Para tanto, o objetivo deste estudo é produzir um material adsorvente a partir da casca de ovo, que é um resíduo agroindustrial de baixo custo e fácil obtenção, para a remoção do corante comercial (Bordô-16), usado no tingimento de roupas.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver um adsorvente obtido a partir da casca do ovo, e avaliar o seu potencial como adsorvente na redução da concentração do corante comercial (Bordô-16), em águas contaminadas com efluentes têxteis.

2.2 ESPECÍFICOS

- Desenvolver um material adsorvente a partir da casca do ovo;
- Estudar a aplicação de modelos cinéticos e de equilíbrio aos resultados experimentais de adsorção, para compreender o processo de adsorção;
- Avaliar a remoção de cor do efluente têxtil sintético a partir do processo de adsorção.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

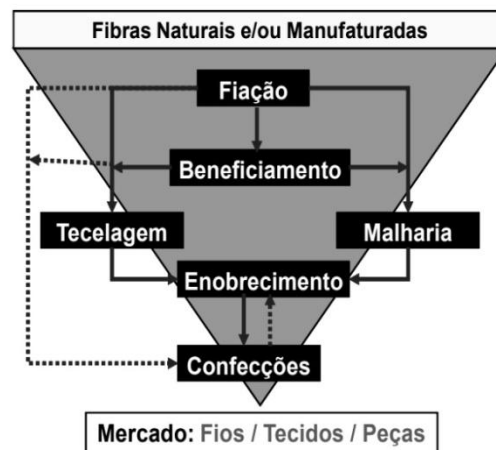
3.1 INDÚSTRIA TEXTIL

A presença da indústria têxtil ao redor do mundo é facilmente notada, uma vez que é responsável por atender as necessidades humanas de se vestir e decorar ambientes. Apresenta ainda um grande significado social e econômico, chegando a influenciar o modo de vida da população em diferentes épocas. Em decorrência disso, a sociedade cria toda uma infraestrutura produtiva, formando parques industriais complexos para suprir a grande demanda em todos os mercados. Tal infraestrutura se constitui basicamente na divisão de todos os processos produtivos, de forma independente, como por exemplo o beneficiamento de fibras naturais, a fiação de fibras naturais, artificiais e sintéticas, a tecelagem e as malharias (FUJITA e JORENTE, 2015).

No entanto, cabe ressaltar que grande parte das indústrias têxteis não implanta o ciclo completo das etapas de produção, incluindo as confecções. E em sua maioria, optam pela terceirização das etapas de seus processos produtivos que fomenta o debate acerca dessa prática e sua relação com o meio ambiente, já que a indústria têxtil passa a ter mais influência no setor.

A Figura 1, mostra toda a configuração da cadeia têxtil de forma simplificada, do processo produtivo na cadeia têxtil, a partir da divisão das fibras, fiação, tecelagem e/ou malharia, beneficiamento e enobrecimento dos fios e tecidos e confecções (NETTO, 2009).

Figura 1 – Configuração da cadeia têxtil



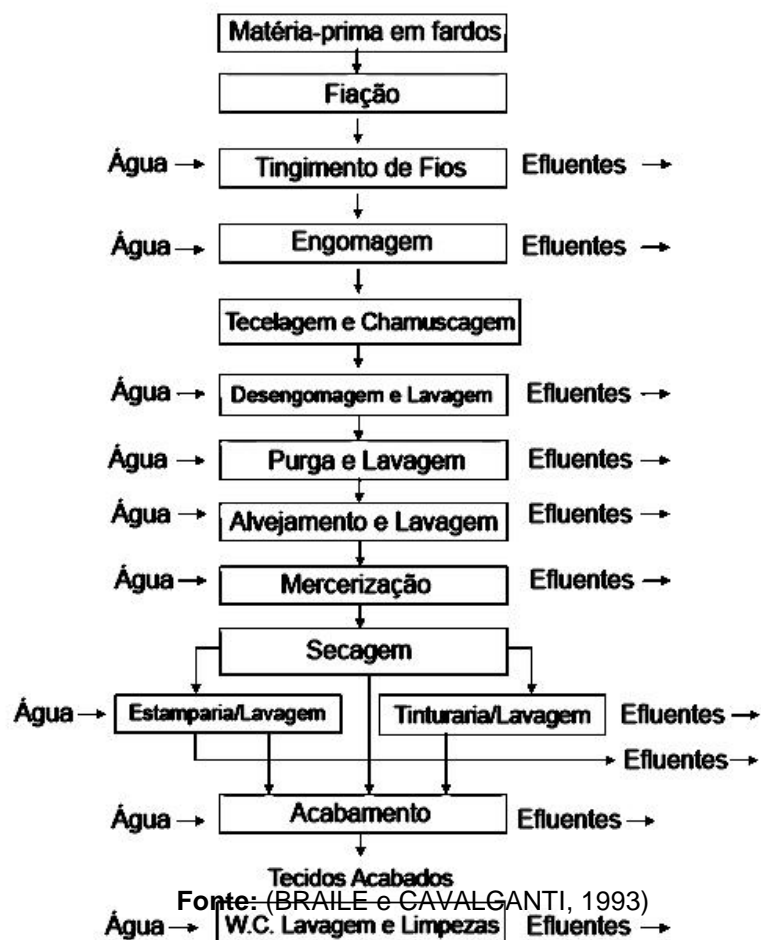
Fonte: (NETTO, 2009)

Especificamente, no segmento de confecções, é utilizado o trabalho de mão-de-obra especializada, que trabalham em seus ateliers ou mesmo, em residências, denominadas de “indústrias de facção” que constituem a maioria das empresas do ramo de confecção (NETTO, 2009).

3.1.1 Processos produtivos

O processamento têxtil se caracteriza basicamente por três etapas: Fiação, Tecelagem e Acabamento/Enobrecimento. Existem ainda algumas operações que ocorrem apenas de forma mecânica, sem a geração de efluentes. As etapas que produzem uma maior quantidade de efluentes nos processos da indústria têxtil são: tingimento, engomagem, desengomagem, purga, alvejamento, mercerização, estamparia, tinturaria e nos acabamentos finais (SILVA, 2007). Todos esses processos podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos



Embora esteja claro que a maior parte dos processos produtivos no setor têxtil utilizem grandes quantidades de água e conseqüentemente geram uma taxa elevada de efluentes, ainda não é possível identificar qual a quantidade de água consumida para produzir um quilo de tecido. De acordo com Leão et al. (2002), são necessários 150 litros de água para produção de um quilo de tecido. Por sua vez, Resende (2012) afirma que são necessários 80 litros de água para produção da mesma quantidade de tecido.

Cabe apontar que, apesar da diferença entre os valores encontrados pelos autores, seus resultados são semelhantes com relação a geração de efluente pós-produção dos tecidos. Resende (2012) estima aproximadamente que 80% do volume total produzido viram efluentes, e Leão (2002) chegou ao valor de 88%. Essa diferença com relação a quantidade de água consumida pode-se referir ao fato dos autores terem escolhidos processos diferentes para representar o consumo, pois dependendo do processo utilizado na fabricação do tecido, as quantidades de água consumida podem variar.

Twardokus (2004) afirmam que o potencial contaminante da indústria têxtil é médio, sendo as atividades de tinturaria e acabamento as etapas responsáveis pela maior quantidade de efluentes quando comparadas com as de fiação e tecelagem. As cargas poluidoras são elevadas pois os processos operacionais e produtos utilizados tornam os efluentes compostos complexos, exigindo tratamentos especiais para sua remoção, garantindo seu descarte adequado no meio ambiente.

3.1.2 *Corantes*

Os corantes são substâncias orgânicas, que podem ser coloridas ou fluorescentes, capazes absorver radiação em uma faixa de luz visível, o que confere a eles a capacidade de dar cor permanente a uma grande quantidade de materiais, conhecidos tecnicamente como substratos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Podem ser classificados conforme sua: estrutura química; de acordo com o método pelo qual é fixado à fibra; solidez em geral; tipo de excitação eletrônica; quando exposto a luz; e outras variadas formas (NETTO, 2009).

A facilidade de absorção do corante a uma fibra está intimamente ligada interação fibra/água. Nas fibras hidrofílicas estão presentes os grupos polares, que

ionizam na presença da água e apresentam uma proporção relativamente alta de regiões desordenadas, que facilitam o seu acesso aos corantes. Os corantes penetram nas fibras têxteis e podem reagir ou não com elas no decorrer do processo de tingimento. É importante considerar também que para cada tipo de fibra existe uma classe de corante equivalente. De acordo com a estrutura os corantes podem ser classificados como: Reativos, Diretos, Azóicos, Ácidos, à Cuba, de Enxofre, Dispersos, Pré-metalizados (MORAES; RAVAGNANI; BITTENCOURT, 2010).

Existem inúmeros tipos de corantes reativos, no entanto, os principais apresentam as funções azo e antraquinona como grupos cromóforos e grupos clorotriazinila e sulfatoestilsulfonila como grupos reativos. A reação química deste tipo de corante se processa através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose (IMMICH, 2006).

3.1.3 *Tratamento de efluentes têxteis*

Os efluentes gerados pelas atividades da indústria têxtil apresentam uma extensa variedade e complexidade, devido ao grande número de processos e tipos de compostos químicos envolvidos em cada setor, exigindo uma necessidade específica de tratamento para cada tipo de efluente.

Existe uma variada quantidade de tratamentos, porém, cabe apontar que nos últimos anos as pesquisas estão voltadas para descoberta de técnicas de tratamento com um maior custo benefício possível. As principais técnicas envolvem os processos com adsorção, degradação química, precipitação, eletroquímica e fotoquímica e biodegradação (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Para a remoção de cor, geralmente são utilizados tratamentos baseados em métodos físico-químicos. Esses métodos têm sido bastante observados no tratamento de efluentes têxteis bem como a degradação biológica, normalmente adotadas pelas indústrias de grande porte, já as indústrias de médio porte preferem sistemas de tratamentos que utilizem adsorção por carbono ativado e coagulação química (DELLAMATRICE, 2005).

As técnicas envolvendo adsorção se baseiam na remoção dos corantes pela passagem da amostra em um composto que irá reter parte do efluente. Esses

compostos podem ser desde carvão ativo a resíduos agrícolas como bagaço de cana. Geralmente é um processo demorado, porém, é considerado bastante efetivo quando realizados em pequena escala. De modo geral, é um método eficiente para a remoção de poluentes com uma maior estabilidade em relação a métodos convencionais (ROBINSON et al., 2001).

No caso da oxidação química, a técnica se baseia principalmente em reações oxidativas com cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio ou reagente de Fenton. A oxidação utilizando o cloro se mostra bastante eficiente para remoção de cor e redução de Demanda Química de Oxigênio (DBO), porém pode ocasionar a produção de halógenos orgânicos adsorvíveis (AOX) que são compostos tóxicos e recalcitrantes. Já, as técnicas de degradação química com uso de ozônio têm mostrado uma maior efetividade em relação ao cloro, que é ineficaz para alguns tipos de corantes (corantes dispersos e diretos) e mais importante, ainda, é a não produção de íons inorgânicos, como ocorre no tratamento com cloro (GUARATINI e ZANONI, 2000; FENG et al, 2003; ANDRADE, 2003).

3.2 ADSORÇÃO

3.2.1 *Processos de adsorção*

Segundo Sousa (2015) a adsorção é conceituada como o processo de separação de vários componentes a nível molecular, sendo uma prática de baixo custo energético. Este processo é caracterizado pelo contato entre o soluto (adsorvato) que se desloca mediante a difusão da fase fluida até a fase líquido-sólida. Isto ocorre mediante a diferença de concentração entre a solução e a superfície do adsorvente.

O soluto, após alcançar a superfície, é difundido entre os microporos do adsorvente, sendo adsorvido pelos sítios ativos. O potencial de remoção da solução é definido pela área superficial dos sítios ativos e do tamanho da molécula do material escolhido. Na adsorção a acumulação desse material na superfície pode ocorrer de modo químico ou físico (PERILLI et al, 2014).

O processo de adsorção apresenta suas fases diferentes, cujos constituintes são distribuídos distintivamente. Na adsorção, as moléculas são distribuídas de maneira regular, porém, permanecem confinadas à superfície dos microporos que se localizam ao redor dos poros que são de um a quatro vezes maiores do que as moléculas, o que não torna este processo homogêneo. Na fase adsorvida, a mobilidade é distinta. O mesmo pode ocorrer a massa específica tanto em natureza fluida quanto sólida (TEIXEIRA et al, 2011).

Vários fatores e situações podem impactar no processo de adsorção, como a natureza do adsorvente, o adsorvato e as condições referentes a solubilidade do soluto, temperatura e pH. Vasques (2008) demonstrou também que o diâmetro molecular do adsorvato influencia o processo, onde quanto mais reduzido for, maior será seu potencial em difundir-se para o interior do sólido, potencializando o processo.

Souza (2015, p. 28) ressalta que:

[...] a solubilidade do adsorvato impede a atração para a superfície do adsorvente, os baixos valores de pH favorecem a adsorção de ácidos orgânicos, podendo assim existir um pH ótimo ser determinado para cada tipo de caso. Elevadas temperaturas diminuem a quantidade de soluto adsorvido, e baixas temperaturas são favoráveis a adsorção embora a velocidade seja afetada por outros fatores.

Dessa maneira, todos esses fatores e parâmetros precisam ser avaliados e entendidos para se adotar adsorventes eficientes e aumentar o índice de adsorção, assegurando os níveis de eficiência desejados.

Gaspar (2003) relata que a bioadsorção é um tipo específico de adsorção voltada para o uso de materiais alternativos e de origem biológica como adsorventes na remoção de solutos em efluentes. Normalmente, adota-se este processo no tratamento de polimento, quando o efluente já esteve exposto a um outro tipo de tratamento inicial, mas ainda apresenta baixas concentrações de solutos que necessitam ser reduzidos para serem descartados adequadamente. Neste caso, a bioadsorção terá resultados mais eficazes do que outros métodos.

3.2.2 Cinética de Adsorção

De acordo com Blanco et al (2016) a cinética de adsorção é responsável por descrever a velocidade de remoção do soluto, variando conforme as características físicas e químicas do adsorvato, adsorvente e do sistema experimental adotado. Os autores descrevem que quando o material adsorvente permanece em contato com uma solução aquosa, não é alcançado o equilíbrio imediatamente. Isto ocorre, pois, as moléculas do adsorvato levam algum tempo para chegarem até a superfície do adsorvente, e conseqüentemente, se alocar na parte interna.

Com isso, o desenvolvimento de modelos matemáticos que buscam descrever a cinética do processo de adsorção considera alguns requisitos e hipóteses, dentre as principais (SOUSA, 2015):

- O processo de adsorção é reversível pois ocorre sob condições isotérmicas;
- Os elementos que configuram a transferência de massa na camada limite ao redor e no interior do adsorvente são mantidos como processo difusivos;
- Os processos de adsorção ocorrem mais rapidamente do que o transporte intraparticular e interparticular;
- A partícula do adsorvente apresenta natureza esférica e isotrópica.

Esses dados podem ser avaliados mediante a adoção de modelos cinéticos de pseudo primeira ordem e segunda ordem. Enquanto os de primeira ordem possibilitam o entendimento da velocidade de reação com o uso de apenas um reagente; o de segunda ordem, embora seja semelhante ao primeiro, avalia apenas as reações de segunda ordem (FUNGARO et al, 2010).

Segundo Lacerda (2017, p. 22) nos modelos de primeira ordem é avaliado “a taxa de variação da captação do soluto com relação ao tempo é proporcional a diferença entre a quantidade adsorvida no equilíbrio e a quantidade adsorvida em qualquer tempo”, a partir da Equação (1):

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

Sendo:

q_t - quantidade de adsorvato que foi adsorvido em um determinado tempo t (mg.g^{-1});

q_e – quantidade de adsorvato que foi adsorvido no equilíbrio (mg.g^{-1});

K_1 - constante de pseudo-primeira ordem (min^{-1});

t - tempo de contato (min).

Ainda segundo Lacerda (2017, p. 23) os de segunda ordem “considera que a taxa de variação da captação do soluto com relação ao tempo é proporcional ao quadrado da diferença entre a quantidade adsorvida no equilíbrio e a quantidade adsorvida em qualquer tempo”, cuja Equação é representada a seguir:

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

Onde:

q_t - quantidade de adsorvato que foi adsorvido em um determinado tempo t (mg.g^{-1});

q_e – quantidade de adsorvato que foi adsorvido no equilíbrio (mg.g^{-1});

K_2 - constante de pseudo-primeira ordem ($\text{g.mg}^{-1} . \text{min}^{-1}$);

t - tempo de contato (min).

3.2.3 *Isotermas de Adsorção*

De acordo com Blanco et al (2016) a isoterma de adsorção envolve a relação entre a quantidade adsorvida e a pressão de equilíbrio de gás, mantendo uma temperatura constante. É representada pela curva da quantidade adsorvida com a massa inicial de adsorvente considerando a concentração restante na fase fluida após o alcance do equilíbrio. Dessa maneira:

O estudo de um processo de adsorção de um dado adsorvente requer o conhecimento de informações de equilíbrio de adsorção. Os dados de equilíbrio são obtidos das isotermas de adsorção, utilizadas, para avaliar a capacidade de diferentes adsorventes em adsorver uma determinada molécula. A isoterma de adsorção é um

método simples e prático de determinar o uso de um bioissorvente para uma determinada aplicação (SILVA, 2014, p. 13).

Em sua fase líquida, a isoterma de adsorção estabelece como é distribuído o adsorvato entre a fase adsorvente e a de solução no ponto de equilíbrio.

Conforme relatam Figueiredo e Ribeiro (1987) as isotermas podem ser classificadas em seis tipos, dentre eles:

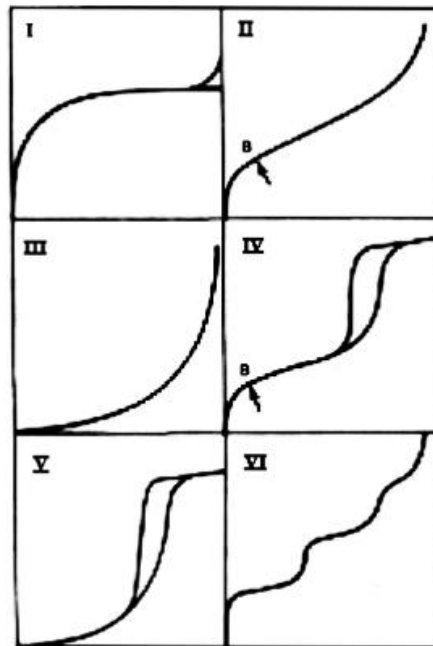
Quadro 1 – Tipos de Isotermas

| Tipos | Descrição |
|----------------------------|--|
| Isotermas do tipo I | Representadas por sólidos microporosos que possuem superfícies externas relativamente pequenas, cuja capacidade adsorvida varia de acordo com o volume dos mesmos. Apresentam um valor limite quanto $p/p_0=1$. |
| Isotermas do tipo II e III | Observadas em materiais não porosos ou macroporosos, sendo a quantidade adsorvida infinita quando a pressão relativa é $p/p_0=1$, representando múltiplas camadas sobrepostas. |
| Isotermas do tipo IV e V | Identificadas no fenômeno de condensação capilar, mediante a presença de mesoporos, onde o potencial adsorvido tende a um valor máximo finito que envolve o enchimento total dos poros com o adsorvato. |
| Isotermas do tipo VI | Bastante rara, este isoterma é observada em superfícies não porosas, caracterizando um processo camada a camada. |

FONTE: Figueiredo e Ribeiro (1987)

Segundo Sousa (2015, p. 30) a histerese nas isotermas de adsorção física se encontra relacionado com “à condensação capilar em estruturas mesoporosas, onde nesse caso não há capacidade do fenômeno de dessorção, ou seja, não há reversibilidade, esse acontecimento é observado nas isotermas do tipo IV e V. conforme o autor, este comportamento pode ser observado nos tipos de isotermas representado na Figura 3 abaixo:

Figura 3 - Comportamento de isotermas de Adsorção

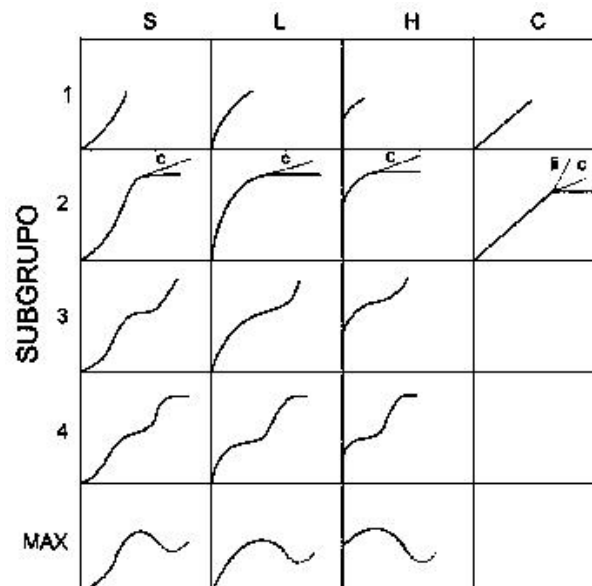


Legenda: Tipos de isotermas I a VI

Fonte: Teixeira *et. al.* (2001)

Teixeira et al (2011) afirma ainda que as isotermas para adsorção em fase líquida podem ser classificadas mediante a observação de sua inclinação inicial, apresentando classes em subgrupos, de acordo com as partes superiores das curvas, conforme a Figura 4 a seguir:

Figura 4 – Classificação de isotermas de adsorção líquida, tipo II.



Fonte: Fagundes e Zuquette (2009)

Com base na Figura 4, observa-se participação constante de soluto entre a solução e o adsorvente nas isotermas do tipo C, cuja curva mantém um aspecto linear, sendo mais favorecida em adsorventes porosos flexíveis e graus de solubilidade diferentes. Facilmente, as isotermas C e L, podem ser consideradas iguais.

Por sua vez, as isotermas H “trata-se de uma forma especial de curva do tipo L, sendo observada quando a superfície do adsorvente possui alta afinidade pelo adsorvato adsorvido” (SOUSA, 2015, p. 3). No tipo L, a inclinação ocorre de forma não linear e côncava quando comparada a abscissa, havendo a redução da quantidade de sítios de adsorção no momento do aumento da solução. No tipo S, a inclinação é linear, mantendo uma adsorção baixa inicialmente, sendo elevada gradativamente e conforme o aumento da quantidade de moléculas adsorvidas, caracterizando a adsorção cooperativa.

Podem ser adotados diversos modelos de equilíbrio que contribuem com a análise do comportamento da adsorção. De acordo com Linhares et al (2008) os modelos mais utilizados são o de Langmuir e o de Freundlich. No modelo de Langmuir, o ponto de equilíbrio envolve a quantidade de soluto adsorvido e a concentração do soluto na solução, supondo que a superfície do sólido é coberta por grande quantidade de sítios que recebem uma molécula adsorvida. Neste caso, os sítios “são equivalentes e considera-se que as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras nem saltam de um sítio para outro” (SILVA, 2014, p. 14). Quando todos os sítios forem preenchidos, é finalizada a adsorção, originando uma monocamada de adsorvato. Cita-se também que a adsorção é constante e sua energia se encontra no mesmo patamar em toda a superfície, não apresentando influência das moléculas vizinhas.

Lacerda (2017) afirma que este modelo é baseado em três hipóteses: os adsorventes são quimicamente adsorvidos em uma quantidade fixa de sítios bem estabelecidos; cada sítio pode absorver apenas uma espécie de adsorvente; e todos os sítios são equivalente. A aplicação deste modelo se dá a partir da Equação (3):

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} K C_e}{1 + K C_e} \quad (3)$$

Sendo:

C_e - concentração do adsorvato na solução após o sistema atingir o equilíbrio (mg.L^{-1});

K - constante de afinidade de Langmuir (mg.L^{-1});

q_e - quantidade de adsorvato que foi adsorvido no equilíbrio (mg.g^{-1});

$q_{\text{máx}}$ - capacidade máxima de adsorção do material (mg.g^{-1}), considerando uma monocamada do adsorvato com o adsorvente.

No modelo de Freundlich, conforme relatam Linhares et al (2008) os sítios podem ser influenciados por sítios ativos próximos, havendo a adsorção a partir de mais de uma molécula vizinha. Sua equação empírica demonstra a existência de uma estrutura em multicamadas, não sendo possível prever a saturação da superfície proveniente do processo de adsorção. Assim, abrange a distribuição exponencial de vários sítios de adsorção que possuem energias diferentes.

$$q_e = K C_e^{1/n} \quad (4)$$

Onde:

C_e - concentração do adsorvato na solução após o sistema atingir o equilíbrio (mg.L^{-1});

q_e - quantidade de adsorvato que foi adsorvido no equilíbrio (mg.g^{-1});

$q_{\text{máx}}$ - capacidade máxima de adsorção do material (mg.g^{-1});

K - constante de Freundlich relacionada com a capacidade de adsorção [$\text{mg.g}^{-1} (\text{mg.L}^{-1})^{-1/n}$];

n - expoente adimensional de Freundlich.

Além destes modelos, Lacerda (2017) cita o modelo de Redlich e Peterson, que estabelece o equilíbrio de adsorção, mediante a seguinte Equação:

$$q_e = \frac{K C_e q_{\text{máx}}}{1 + K(C_e)^n} \quad (5)$$

Onde:

C_e - concentração do adsorvato na solução após o sistema atingir o equilíbrio (mg.L^{-1});

q_e - quantidade de adsorvato que foi adsorvido no equilíbrio (mg.L^{-1});

$q_{\text{máx}}$ - capacidade máxima de adsorção do material (mg.L^{-1});

K e n - constantes do modelo, com as unidades (L.g^{-1}) e (mg.L^{-1}); respectivamente.

Ao combinar o modelo de Langmuir e Freundlich, Oliveira et al (2013) citam o modelo de Sips:

$$q_e = \frac{(K C_e)^n q_{\text{máx}}}{1 + (K C_e)^n} \quad (6)$$

Sendo:

C_e - concentração do adsorvato na solução após o sistema atingir o equilíbrio (mg.L^{-1});

q_e - quantidade de adsorvato que foi adsorvido no equilíbrio (mg.g^{-1});

$q_{\text{máx}}$ - capacidade máxima de adsorção do material (mg.g^{-1});

K e n - constantes de Sips.

Cabe ressaltar que quando as concentrações são baixas, este modelo se assemelha a isoterma de Freundlich, e quando são elevadas, demonstra o potencial de adsorção de monocamada como na isoterma de Langmuir (LACERDA, 2017).

3.3 COMPOSIÇÃO DA CASCA DO OVO

A casca de ovo é citada como uma barreira protetora que impede a penetração de microrganismos. É ainda um composto biocerâmico de estrutura extracelular reunida, que atua na proteção do conteúdo do ovo, possibilitando a quantidade de cálcio suficiente para a formação do pinto. Possui várias camadas porosas, atuando como impermeabilizante de água e gases, possibilitando que o embrião respire (OLIVEIRA et al, 2009).

Segundo Rodrigues e Ávila (2017) é constituída tanto por substâncias orgânicas quanto por inorgânicas. Possui uma película interna originada a partir de glicoproteínas, mucoproteínas, colágeno e mucopolissacarídeos; enquanto sua porção inorgânica é composta por carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3) e fosfato de cálcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Em seu estudo, os autores constataram que o CaCO_3 é o principal componente da casca de ovo, podendo ser utilizado pelas atividades industriais, sendo considerado uma importância matéria prima no setor da construção civil, bem como na produção de papel.

Por sua vez, a membrana da casca é constituída por glicoproteínas que apresentam colágenos do tipo I, V e X, vastamente utilizados pela indústria cosmética. Em sua composição, também podem ser encontrados o sulfato de queratana e a dermatana, glicosaminoglicanos usados na fabricação de colágenos e síntese de outros produtos, como a quitina. Está presente o ácido siálico, um sialo-oligosacarídeo reconhecido por suas propriedades terapêuticas no desenvolvimento de fármacos. As enzimas bacteriolíticas, como a lisozima e a beta-N-acetil glucosaminidase podem ser observadas e são citadas por sua função na alteração da resistência térmica bacteriana (BORON, 2004).

Quanto a sua composição mineral, observa-se que o Cálcio (Ca) é o elemento mais abundante na casca de ovo, podendo outros serem identificados em menores concentrações como o magnésio (Mg), estrôncio (Sr), ferro (Fe) e selênio (Se). O Ca encontrado neste subproduto apresenta alta biodisponibilidade, sendo verificada e animais e em humanos (MILBRADT et al, 2015).

O mineral encontrado em maior quantidade no corpo humano, representando cerca de 1 a 2% do peso é o Ca, cuja concentração nos ossos e dentes é de 99%. Este mineral é fundamental para a contração muscular, disseminação do impulso

nervoso, coagulação sanguínea e outras atividades. Cabe citar que 40% da casca do ovo de galinha é constituída por Ca na forma CaCO_3 (MILBRADT et al, 2015).

De acordo com Oliveira et al (2009, p. 02) sua camada calcária é “composta por uma rede de fibras proteicas, entre as quais se inserem cristais de carbonato de cálcio (96% do peso da casca), carbonato de magnésio (1%) e fosfato de cálcio (1%)”. O CaCO_3 é um cristal amorfo que se desenvolve a partir da forma natural de calcita, mantendo baixa solubilidade em água.

Santos et al (2012) afirmam que as condições de produção e armazenamento do ovo são fatores influenciadores da qualidade da casca, já que dejetos de animais e fertilizantes a base de amônia são capazes de formar nitratos e conseqüentemente íons de nitrito através de reações de redução. Além disso, as cascas de ovos “são porosas e permitem a troca de gases entre o ovo e o ambiente. Quando os ovos são lavados, a cutícula externa desaparece, deixando a maioria dos poros abertos” (SANTOS et al, 2012, p. 02). Estas exposições e condições acabam por aumentar os riscos de contaminação e proliferação de bactérias e fungos.

Santos et al (2012) ao analisar a composição inorgânica da casca de ovo observaram a presença de ânions e cátions comuns, onde:

A presença em baixas concentrações de íons amônio (0,4569 mg/L) pode significar que a superfície da casca esteja com resíduos orgânicos em decomposição. Já a presença de íons fluoreto tem influência direta da lavagem do ovo com água potável tratada, que contem quantidades significativas do ânion. A presença de nitrito e nitrato (com nitrato em concentrações aproximadamente 10 vezes maiores) indica contaminação da superfície por agentes orgânicos em decomposição não tão recente (SANTOS et al, 2012, p. 02).

Os autores verificaram também concentrações relativamente baixas de metais pesados. Quando há a presença de potássio e cálcio em grandes quantidades é um fator indicativo do valor nutricional da casca, podendo ser usada como suplemento alimentar para a reposição deste mineral. Houve um indicativo de contaminação por excrementos das aves, em razão da grande quantidade de nitrato (SANTOS et al, 2012).

Em todo o mundo, estima-se que anualmente são produzidas cerca de 6 milhões de toneladas de casca de ovos nas residências e em indústrias alimentícias, sendo que a maior quantidade desses resíduos é encaminhada para a agricultura, que as utilizam na correção do pH do solo. Além disso, a adoção da casca de ovo como subproduto industrial pode contribuir com a diminuição da extração de reservas não renováveis de CaCO_3 como rocha calcária (MILBRADT et al, 2015).

Schmidt (2016) afirma que o Brasil é o sétimo maior produtor de ovos mundialmente. Portanto:

Esses dados se explicam pelo fato dos ovos serem amplamente utilizados na indústria de alimentos o que acaba gerando uma quantidade expressiva de cascas, que representa em média 10% da massa total do ovo. Esse resíduo, embora não seja perigoso, na maioria das vezes é eliminado diretamente no ambiente, ocasionando um enorme problema de poluição ambiental e de saúde pública, já que pode atrair pragas, como também promover a proliferação microbiana, devido a sua matriz orgânica (SCHMIDT, 2016, p. 14-15).

Vilar et al (2010) afirmam que as cascas de ovo são constantemente desprezadas na alimentação, no entanto, apresentam importância econômica, social e ambiental, uma vez que podem ser aproveitadas como suplementos nutricionais, ração animal ou em processos industriais variados. Para Oliveira et al (2009, p. 02) são ricas em “sais minerais, servindo como base para desenvolvimento de produtos na indústria cosmética, suplementos alimentares, bases biocerâmicas, fertilizantes, implantes ósseos e dentários e como agente antitártaro em cremes dentais”.

Vilar et al (2010) ao analisarem a composição química da casca do ovo, demonstraram que:

[...] 100 g desse produto continha baixo teor de umidade ($1,3490 \pm 0,0274$ g), resíduo mineral fixo equivalente a $91,9600 \pm 0,2218$ g e baixo teor calórico ($30,6823 \pm 4,9069$ Kcal), provenientes de $4,3693 \pm 0,3977$ g de proteínas, $0,7837 \pm 0,0560$ g de lipídios e $1,5379 \pm 0,7029$ g de carboidratos totais, além de $30.263,72$ mg de cálcio (VILAR et al, 2010, p. 247).

A busca por novos compostos oriundos de materiais residuais como a casca do ovo tem se mostrado essencial para a promoção da valoração do resíduo produzido, possibilitando a minimização de impactos ambientais. Neste sentido, a casca do ovo tem sido citada como importante material adsorvente nos processos industriais. Espinosa et al (2015) descreveu que este subproduto é um material de baixo custo, apresentando bons resultados semelhantes à do carvão, superiores a 89%, principalmente quando se adota o carbonato de cálcio de maneira isolada.

Para Oliveira et al (2009) o CaCO_3 é um dos materiais mais absorventes da natureza. Isto se deve ao fato de que quando em processo de calcinação, há sua decomposição em óxido de cálcio, que atua na absorção de gases ácidos como o dióxido de carbono. Em meio aquoso, é capaz de remover grandes quantidades de metais pesados com altas taxas de eficiência.

Schmidt (2016) utilizou a casca de ovo para obtenção de adsorventes na remoção de poluentes hídricos como o corante verde brilhante, que atingiu seu tempo de equilíbrio em intervalos de tempo de 30 a 180 min a partir do início do processo de adsorção, obtendo uma eficiência de remoção superior a 95%.

A casca do ovo é um material adsorvente eficaz, pois possui uma estrutura porosa, podendo ser utilizada sob a forma de pó ou granulado, processada a fim de possibilitar a porosidade interna, aumentando o volume dos poros e o potencial e abranger a área superficial (SCHMIDT, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

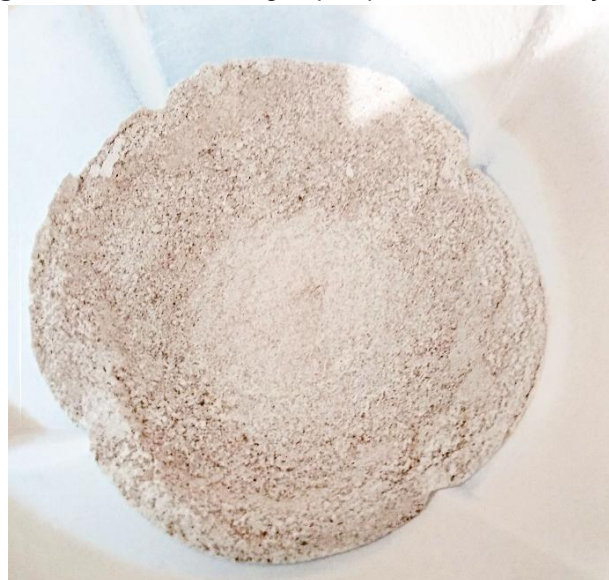
Este capítulo trata da descrição dos materiais aplicados à produção da biomassa a partir da casca do ovo, assim como os equipamentos e métodos aplicados em sua caracterização. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisas em Ciências Ambientais (LAPECA) que pertence ao Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

4.1 MATERIA PRIMA

4.1.1 Adsorvente

A matéria-prima utilizada como biomassa foi a casca do ovo, de cor marrom, comercializado em Campina Grande – PB. As cascas foram separadas e higienizadas apenas com água de abastecimento e posteriormente acondicionadas em um recipiente aberto para secagem natural à temperatura ambiente e sendo acumuladas por um período de aproximadamente 6 meses. Em seguida, as cascas foram trituradas em um liquidificador doméstico da marca Arno, modelo Faciclic na velocidade 2 durante 5 minutos até obter-se um produto com características de uma farinha visualmente homogênea. Em seguida foram armazenadas em um recipiente hermeticamente fechado para posteriores utilizações.

Figura 5 - Adsorvente logo após processo de trituração.



FONTE: Autor, 2018

4.1.2 Adsorvato

Como adsorvato utilizou-se uma solução do corante comercial da marca Tupy na cor Bordô-16, utilizado para tingir Algodão, rayon-viscose, rami, linho, sisal e mesclas. Inicialmente foi preparada uma solução estoque contendo 2.000mg.L^{-1} do corante. A partir desta solução estoque foram preparadas soluções de trabalho com diluições em água destilada e concentrações de 40 a 400mg.L^{-1} .

Inicialmente determinou-se o comprimento de onda no qual o composto a ser quantificado absorve o máximo de radiação. Isto foi realizado mediante varredura em espectro na faixa de 450nm a 600nm. Com isso obtendo uma absorbância máxima no comprimento de onda de 522nm.

Figura 6 - Serie de diluições a partir da solução estoque do corante



FONTE: Autor, 2018

4.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO

Para o desenvolvimento de todas as etapas do experimento foi necessário inicialmente construir uma curva de calibração sendo determinada a partir do comprimento de onda o qual houvesse a maior absorção.

4.2.1 Levantamento do Comprimento de Onda

Partindo da solução estoque de 2.000mg.L^{-1} do corante foi preparada uma solução com 200 mg.L^{-1} , essa solução foi utilizada a fim de encontrarmos a absorvância máxima. Nessa etapa utilizamos comprimentos de onda entre $450\text{nm} - 600\text{nm}$, com intervalos de 10nm , e obtivemos a Tabela 1:

Tabela 1 - Absorvância observada para comprimento de onda entre $450\text{nm} - 550$ com intervalo de

| λ (nm) | A |
|----------------|-------|
| 450 | 0,152 |
| 460 | 0,175 |
| 470 | 0,206 |
| 480 | 0,251 |
| 490 | 0,282 |
| 500 | 0,316 |
| 510 | 0,342 |
| 520 | 0,353 |
| 530 | 0,344 |
| 540 | 0,312 |
| 550 | 0,247 |

10nm.

FONTE: Autor, 2018

Após identificarmos o intervalo no qual a absorvância era maior, dividimos o intervalo para 10nm a fim de se obter um intervalo mais preciso para determinação do comprimento de onda, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 - Absorvância obtida.

| Concentração de 200mg.L^{-1} | |
|---------------------------------------|-------|
| λ (nm) | A |
| 510 | 0,342 |
| 514 | 0,349 |
| 518 | 0,352 |
| 522 | 0,353 |
| 526 | 0,350 |
| 530 | 0,344 |

FONTE: Autor, 2018

Com o objetivo de aprimorar ainda mais o intervalo de determinação do comprimento de onda, os intervalos foram divididos de 2 em 2nm e observou-se que o comprimento de onda que obteve a melhor absorbância foi o de 522 nm.

4.2.2 Construção da Curva de Calibração

De posse do comprimento de onda no qual o corante corante comercial (Bordô-16) absorve o máximo de radiação, foi realizada uma serie de diluições com concentrações variando de 40 mg.L⁻¹ a 400 mg.L⁻¹, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Absorbância para diferentes concentrações.

| Solução | Concentração (mg.L⁻¹) | Absorbância |
|-----------------------|---|--------------------|
| S₁ | 40 | 0,076 |
| S₂ | 80 | 0,150 |
| S₃ | 120 | 0,219 |
| S₄ | 160 | 0,301 |
| S₅ | 200 | 0,358 |
| S₆ | 240 | 0,441 |
| S₇ | 280 | 0,519 |
| S₈ | 320 | 0,595 |
| S₉ | 360 | 0,655 |
| S₁₀ | 400 | 0,728 |

FONTE: Autor, 2018

Logo em seguida, foi construída uma curva de calibração, $C_{corante} \times$ Absorbância, conforme a Figura 7, na qual obtivemos a seguinte equação da reta gerada pela curva de calibração como é mostrada na Equação 7.

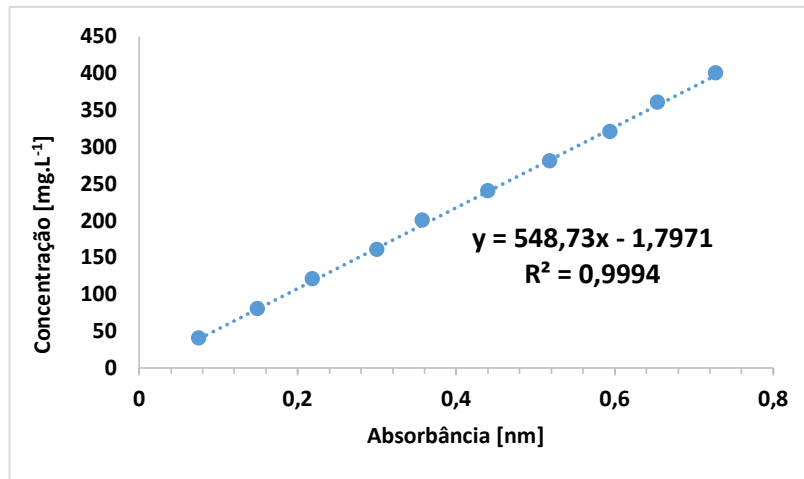
$$C_f = 548,73 \cdot C_i - 1,7971 \quad (7)$$

Sendo:

C_f - a absorbância do corante medida no espectrofotômetro (nm);

C_i - a concentração de equilíbrio do corante na fase fluida (mg.L⁻¹).

Figura 7 - Curva de calibração do corante comercial (Bordô-16).



FONTE: Autor, 2018

4.3 ESTUDO DA ADSORÇÃO

Para o desenvolvimento dos estudos da adsorção, foi utilizada a farinha da casca do ovo, bruta, obtida a partir do processo de trituração, sem passar por nenhum de tipo de peneiramento ou separação.

4.3.1 Cinética de Adsorção

Com o objetivo de obter as curvas cinéticas, foram realizados ensaios com concentração inicial das soluções de corante de 100 mg.L⁻¹. Foram utilizados 12 erlenmeyers contendo 25 mL da solução de corante com 100 mg.L⁻¹ e com massa de 0,25 g do adsorvente, colocados sob agitação de 80 rpm durante 1 hora. As amostras foram retiradas a cada intervalo de 5 minutos e filtradas usando como meio filtrante uma peneira. O material sobrenadante foi centrifugado sob uma velocidade de rotação de 2800 rpm durante 30 minutos para a sedimentação dos sólidos em suspensão. A concentração de cada amostra foi determinada por meio da leitura de absorbância em espectrofotômetro.

A quantidade de material adsorvido por massa de adsorvente foi calculada pela seguinte Equação:

$$q_t = \frac{V(C_i - C_t)}{M} \quad (8)$$

Sendo:

C_i – concentração inicial do corante (mg.L^{-1});

C_t – concentração do corante no tempo t (mg.L^{-1});

M – massa do bioadsorvente (g);

V – volume da solução do corante (mL).

No caso da porcentagem de corante removida foi obtido através da Equação 9:

$$\%Ads = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100 \quad (9)$$

Onde:

C_o – concentração inicial do corante (mg.L^{-1});

C_f – concentração final do corante no tempo t (mg.L^{-1});

4.3.2 Isotermas de Adsorção

Os processos de adsorção para estudo das isotermas, foram realizados utilizando uma de adsorvente de 0,25 g. A biomassa foi colocada em erlenmeyers contendo 25 mL de solução de corante com concentrações variando de 40 à 400 mg.L^{-1} . Os erlenmeyers foram colocados em uma mesa agitadora com rotação constante de 80 rpm, durante 4 horas. O tempo de equilíbrio foi determinado a partir do modelo de pseudo-segunda ordem que melhor se ajustou os dados da cinética de adsorção. No final dos ensaios, as amostras foram filtradas utilizando como meio filtrante peneira e centrifugadas para retirar os sólidos em suspensão. Em seguida, a concentração de equilíbrio foi determinada a partir da leitura de absorbância. A quantidade de corante removida pelo adsorvente no equilíbrio foi calculada de acordo com a Equação 10.

$$q_{eq} = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (10)$$

Sendo:

q_{eq} – quantidade de corante removida pelo adsorvente (mg/g)

C_e – concentração do corante no equilíbrio (mg.L⁻¹);

V – volume da solução (L);

m – massa do adsorvente (g).

Os dados experimentais foram ajustados utilizando os modelos matemáticos de Freundlich, Langmuir, Redlich e Peterson e Sips. Os parâmetros dos modelos usados foram calculados a partir dos softwares STATISTICA.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

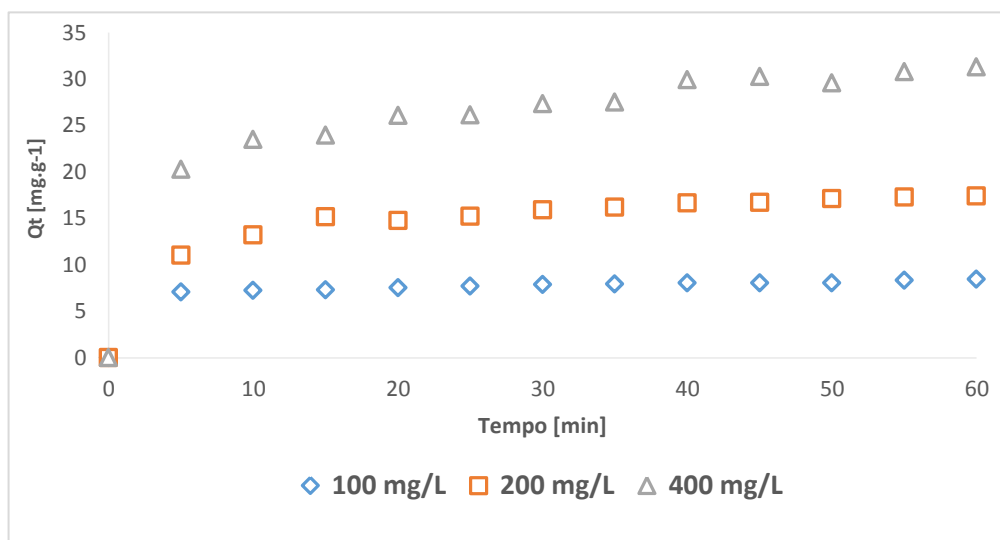
Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no levantamento do comprimento de onda máximo necessário para construção da curva de calibração, bem como os diversos estudos relacionados a cinética e equilíbrio do processo de adsorção.

5.1 ENSAIOS CINÉTICOS E MODELAGEM

Os ensaios cinéticos de adsorção foram realizados em três concentrações diferente 100 mg.L^{-1} , 200 mg.L^{-1} e 400 mg.L^{-1} . Para representar a cinética de adsorção da casca do ovo como biomassa do corante, os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

Na figura 8 são apresentados os comportamentos cinéticos de adsorção do corante comercial (Bordô-16), em diferentes concentrações utilizando 0,25 g de farinha da casca do ovo como adsorvente.

Figura 8 - Cinética de Adsorção do corante comercial (Bordô-16).



FONTE: Autor, 2018

Os resultados referentes à quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente (Q_t) e porcentagem removida (**Ads %**) do corante comercial (Bordô-16) após o processo de adsorção, obtidos nos ensaios cinéticos, por meio do adsorvente da casca do ovo, estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de corante adsorvida e porcentagem de corante removida.

| <i>Tempo (min)</i> | 100 mg.L ⁻¹ | | 200 mg.L ⁻¹ | | 400 mg.L ⁻¹ | |
|------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------|
| | <i>Q_t (mg/g)</i> | <i>Ads (%)</i> | <i>Q_t (mg/g)</i> | <i>Ads (%)</i> | <i>Q_t (mg/g)</i> | <i>Ads (%)</i> |
| 5 | 7,05 | 70,52 | 11,02 | 55,08 | 20,22 | 50,56 |
| 10 | 7,20 | 72,03 | 13,16 | 65,78 | 23,44 | 58,61 |
| 15 | 7,23 | 72,35 | 15,13 | 75,66 | 23,92 | 59,80 |
| 20 | 7,50 | 75,05 | 14,75 | 73,74 | 26,02 | 65,06 |
| 25 | 7,69 | 76,92 | 15,19 | 75,93 | 26,10 | 65,26 |
| 30 | 7,82 | 78,20 | 15,90 | 79,50 | 27,30 | 68,26 |
| 35 | 7,89 | 78,93 | 16,17 | 80,87 | 27,49 | 68,71 |
| 40 | 8,00 | 80,03 | 16,61 | 83,06 | 29,85 | 74,62 |
| 45 | 8,00 | 80,03 | 16,67 | 83,34 | 30,21 | 75,53 |
| 50 | 8,03 | 80,26 | 17,05 | 85,26 | 29,53 | 73,84 |
| 55 | 8,30 | 82,96 | 17,27 | 86,36 | 30,76 | 76,90 |
| 60 | 8,41 | 84,05 | 17,38 | 86,91 | 31,25 | 78,13 |

FONTE: Autor, 2018

De acordo com os dados da Tabela 4, podemos perceber que a casca do ovo apresenta uma alta capacidade de adsorção chegando a adsorver 86,91% do corante comercial (Bordô-16) em apenas 60 minutos de contato. Verifica-se também a alta capacidade de adsorção nos primeiros 5 minutos de experimento, com valores de 70,52% para concentração de 100 mg.L⁻¹ e permanecendo acima de 50% para maiores concentrações. De acordo com Nascimento (2018) esse tipo de comportamento pode ser justificado pela alta quantidade de sítios ativos disponíveis na superfície do adsorvente, que possibilita um processo de adsorção mais rápido no início.

Resultados semelhantes foram observados por Espinosa et. al. (2015), que utilizou a casca de ovos e o carbonato de cálcio isolados da mesma, para remoção do metal pesado Cd^{2+} , apresentando como resultado altas remoções para os ensaios com a casca do ovo, em média 98%, e com o carbonato de cálcio isolado da casca, em média 99%. Contudo, as concentrações utilizadas nos experimentos foram de 1, 2 e 4 mg.L^{-1} . Ainda assim, confirmando a alta capacidade de adsorção da casca do ovo.

Xavier (2017), utilizou o mesocarpo do coco verde como adsorvente para remoção do corante comercial (Bordô-16) e obteve em torno de 53% de eficiência na remoção do corante. Tais resultados obtidos mostram que a capacidade de adsorção da casca do ovo é bastante superior ao mesocarpo do coco verde, para o mesmo corante e condições operacionais.

Na Figura 9 podemos observar o aspecto da amostra contendo a biomassa da casca do ovo após o processo de agitação de 60 minutos e retirada da solução para o posterior processo de centrifugação. Bem como a coloração da amostra, contendo a solução, após o processo de 30 minutos de centrifugação.

Figura 9 - Biomassa após 60 minutos de agitação e solução após 30 minutos de centrifugação.



FONTE: Autor, 2018

5.1.1 Ajustes dos Modelos Cinéticos

Para investigar os mecanismos que controlam a cinética de adsorção do corante sobre as cascas de ovos, os dados experimentais foram ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem. A avaliação dos modelos foi realizada através da comparação do coeficiente de determinação R^2 .

Na Tabela 5 podemos observar os valores estimados para os parâmetros dos modelos cinéticos. Verificou-se que para todos os ensaios cinéticos de adsorção o modelo matemático que apresenta melhor concordância com os dados experimentais é o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, pois apresenta um maior coeficiente de determinação em relação ao modelo de pseudo-primeira ordem.

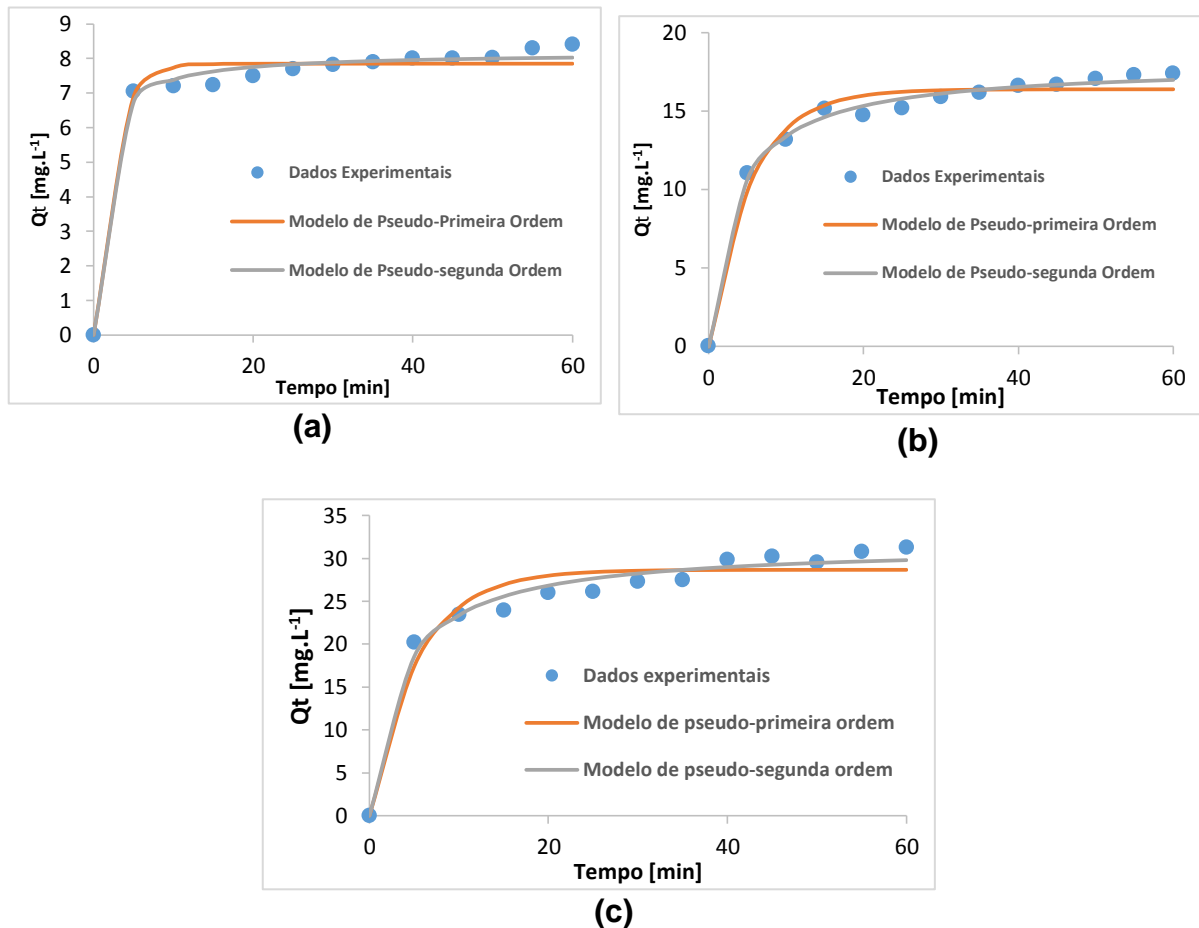
Tabela 5 - Valores estimados dos parâmetros para os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

| Concentração (mg.L ⁻¹) | Modelo | K (min ⁻¹) | q _e (mg.g ⁻¹) | R ² |
|---------------------------------------|----------|---------------------------|---|----------------|
| 100 | 1ª Ordem | 0,4205 | 7,8512 | 0,9878 |
| | 2ª Ordem | 0,1141 | 8,1716 | 0,9947 |
| 200 | 1ª Ordem | 0,1853 | 16,3971 | 0,9866 |
| | 2ª Ordem | 0,0163 | 17,9618 | 0,9969 |
| 400 | 1ª Ordem | 0,1867 | 28,6626 | 0,9716 |
| | 2ª Ordem | 0,0090 | 31,5335 | 0,9901 |

FONTE: Autor, 2018

A Figura 10 ilustra os ajustes para os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem aos resultados obtidos nos experimentos com 100, 200 e 400 mg.L⁻¹, respectivamente.

Figura 10 - Ajuste dos modelos cinéticos à diferentes concentrações.



FONTE: Autor, 2018

Como constatado anteriormente, o modelo de pseudo-segunda ordem descreve de forma mais satisfatória o processo de adsorção para o corante estudado. Podemos ver também que, de acordo com a Figuras 10, os dados experimentais apresentam uma leve dispersão em relação aos dados dos modelos. Tal fato é justificado pelo alto coeficiente de determinação, que para todas as concentrações analisadas obteve uma média de 0,98 para o modelo de pseudo-primeira ordem e médias acima de 0,99 para o modelo de pseudo-segunda ordem. Confirmando assim que existe um grande indicativo de que o processo de adsorção é de natureza química.

Ho et. al (1999) afirmam que, caso o modelo de pseudo-segunda ordem represente a cinética de adsorção, pressupõe-se que existe uma predominância da adsorção química ou quimissorção no decorrer do processo. Tendo em vista que a

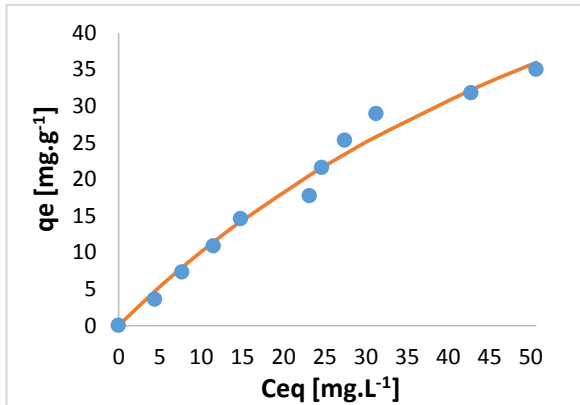
competição dos sítios de adsorção na superfície será menor, para uma concentração mais baixa. Em concentrações mais alta, as competições serão maiores e serão obtidas menores quantidades de adsorção.

Bueno e Carvalho (2007) avaliaram a capacidade de retenção de chumbo(II) presente em meio aquoso utilizando dois carvões ativos brasileiros. No estudo da cinética de adsorção o modelo de pseudo-segunda ordem também obteve um melhor ajuste aos dados da adsorção do metal pesado chumbo(II).

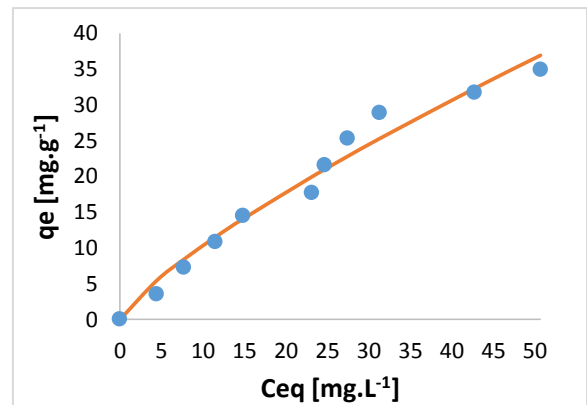
5.2 ENSAIOS DE EQUILÍBRIO E MODELAGEM

As isotermas de equilíbrio são utilizadas para descrever as interações existentes entre o adsorvato e adsorvente, com isso, obter uma previsão sobre a capacidade de adsorção do adsorvente. Vários modelos abordando as isotermas de equilíbrio têm sido propostos na literatura. Na Figura 11 podemos observar os dados experimentais ajustados as isotermas de Langmuir, Freundlich, Redlich e Peterson, Sips, respectivamente. A isoterma que apresentou um melhor ajuste aos dados experimentais utilizados nos ensaios de equilíbrio foi a isoterma de Sips. De acordo com Sousa (2015), essa isoterma se comporta da mesma forma que a isoterma de Langmuir em altas concentrações e como a isoterma de Freundlich, em baixas concentrações. O autor também obteve um melhor ajuste com a isoterma de Sips.

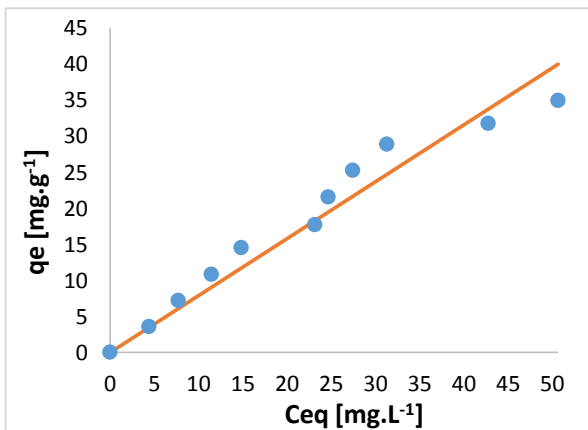
Figura 11 - Dados experimentais ajustados as isotermas de adsorção. (a)Langmuir; (b)Freundlich; (c)Redlich e Peterson; (d)Sips



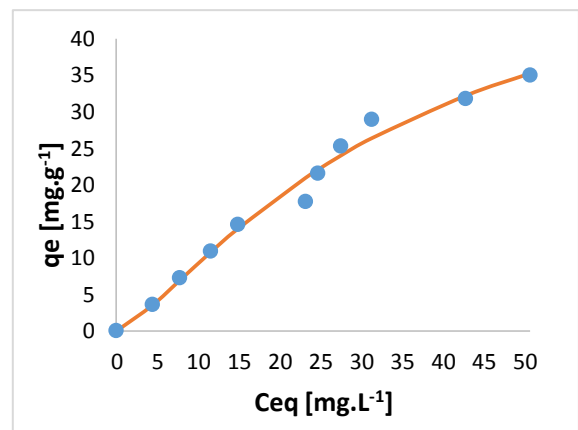
(a)



(b)



(c)



(d)

FONTE: Autor, 2018

Tabela 6 - Valores dos parâmetros e coeficiente de determinação do estudo das isotermas

| Isotermas | Parâmetros | Valores parâmetros | R ² |
|------------|------------------|--------------------|----------------|
| Langmuir | Q _{máx} | 97,9715 | 0,988085 |
| | K | 0,0114 | |
| Freundlich | N | 1,2741 | 0,983105 |
| | K | 1,6938 | |
| Redlich e | N | -15,5344 | 0,961562 |

| | | | |
|-----------------|------------------|---------|----------|
| Peterson | $Q_{\text{máx}}$ | 0,8418 | |
| | K | 0,9361 | |
| | N | 1,3122 | |
| Sips | $Q_{\text{máx}}$ | 56,8797 | 0,990409 |
| | K | 0,0286 | |

FONTE: Autor, 2018

De acordo com a Tabela 6, podemos perceber que todos os modelos testados obtiveram bons ajustes, com coeficientes de determinação acima de 0,96. No entanto a isoterma de Sips obteve um maior valor de R^2 com 0,9904 se tornando assim o modelo mais adequado para descrever as interações existentes durante o processo de adsorção com a farinha da casca do ovo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Shinzato et. al. (2009) que verificou a eficiência da zeólita natural e da sua rocha hospedeira (dacito amigdaloidal), da região de Timburi (SP), no processo de remoção de Pb^{2+} e Cr^{3+} em tratamentos de efluentes industriais, no qual o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o modelo de Sips. Tais resultados revelaram a heterogeneidade do sistema estudado.

6 CONCLUSÃO

Após a avaliação dos resultados obtidos ao final deste estudo, podemos afirmar que seu principal objetivo foi cumprido. Levando em consideração que conseguimos obter um material adsorvente a partir de cascas de ovos e avaliar sua capacidade de reduzir significativamente a cor de um corante têxtil.

Os modelos cinéticos avaliados mostraram um ótimo desempenho em relação aos coeficientes de determinação, com médias acima de 0,98. Porém os modelos de pseudo-segunda ordem foram os que apresentaram melhores coeficientes de determinação, indicando assim, que existe uma grande probabilidade de o processo ser caracterizado por uma quimissorção. A capacidade de remoção do corante alcançou o valor de 86,91%, para a concentração de 200 mg.L⁻¹. Mostrando o grande potencial adsorptivo da farinha da casca do ovo.

Cabe ressaltar, que o potencial de adsorção da biomassa obtida nos experimentos pode aumentar consideravelmente caso sejam estudadas mais variáveis como a granulometria do adsorvente, pH, tempo de contato e também possíveis alterações químicas na biomassa, como por exemplo o isolamento do carbonato de cálcio presente na casca do ovo.

Nos estudos de equilíbrio conseguimos estimar um tempo limite de 240 minutos para se chegar ao equilíbrio do sistema. E a isoterma que apresentou melhor desempenho foi a escrita pelo modelo de Sips.

Diante de todos os resultados obtidos podemos perceber que a farinha da casca do ovo se apresenta como uma alternativa bastante promissora para o tratamento de efluentes têxteis. Tendo em vista sua grande disponibilidade em todo território nacional, seu imenso potencial para remoção de cor de corantes têxteis e principalmente seu baixo custo de obtenção.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, T. P. **Avaliação físico-química de polpa e de casca de banana in natura e desidratada** (2012) Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/62051/000868342.pdf?sequence=1>> Acesso em: 28 de fev. 2018.
- ANDRADE, P. F. S. **Análise da conjuntura agropecuária: safra 2016/2017 – Friticultura** (2017) Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2017/Friticultura_2016_17.pdf> Acesso em: 27 de fev. 2018.
- ATAÍDE, C. S; FIGUEIREDO, M. J; RODRIGUES, J. G; SOUZA, J. O. **Aproveitamento do resíduo agrícola da banana (musa balbisiana e da musa sapientum, linneo): agricultura familiar como forma de desenvolvimento sustentável** (2010) Disponível em: <<http://www.prac.ufpb.br/enex/trabalhos/7CCHSADGTAPROBEX2013478.pdf>> Acesso em: 03 de mar. 2018.
- BARNARDINO, E. R; PEIXOTO, A. M; BUMBA, M. A. C; OI, R. K. **Avaliação e aplicação da biomassa da casca de laranja na bioissorção de um corante: uma alternativa sustentável** (2016) Disponível em: <<file:///D:/Downloads/galao-proceedings--cobeq-2016-39329-avaliacao-e-apli.pdf>> Acesso em: 26 de mar. 2018.
- BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento** (2000) Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15866/1/LeocadiaTCB.pdf>> Acesso em: 02 de mar. 2018.
- BLANCO, S. P. D. M; QUINÕES, F. R. E; MÓDENES, A. N; BORBA, C. E; MARIN, P; PASSAIA, N; FIGUEIREDO, L. S. **Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção do corante azul reativo 5G pelo adsorvente Dowex™ Optipore™ SD-2**. Engevista, V. 18, n. 1, p. 96-108, Julho 2016.
- BONIOLO, M. R. **Bioissorção de urânio nas cascas de banana** (2008) Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/084/40084777.pdf> Acesso em: 04 de mar. 2018.
- BORGES, A. L; OLIVEIRA, A. M. G. **Nutrição, calagem e adubação**. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.) **Banana produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p.47-59. Disponível em:

<http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_2325.pdf> Acesso em: 28 de fev. 2018.

BUENO, C. I. C; CARVALHO, W. A. **Remoção de Chumbo(II) em sistemas descontínuos por carvões ativados com ácido fosfórico e com vapor.** Quim. Nova, Vol. 30, No. 8, p. 1911-1918, 2007. Disponível em:<<http://unesp.homolog.scielo.br/pdf/qn/v30n8/a22v30n8.pdf>> Acesso em: 09 de jun. 2018.

BUGIERECK, A. M; BEHLING, S. M; FIORI, M. A; MELLO, J. M. M; COLPANI, G. L; MAGRO, J. D. **Adsorção de corante catiônico por carvão ativado de casca de banana (2014)** Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1119-20888-156155.pdf>> Acesso em: 04 de mar. 2018.

CARDOSO, N. F. **Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos (2012)** Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/63143/000869354.pdf?sequence=1>> Acesso em: 20 de mar. 2018.

COSTA, F. O; SILVA, A. M; CARVALHO, E. S; SILVA, V. L. M. M; LIMA, L. M. R. **Uso da casca da banana como bioadsorvente em leito diferencial na adsorção de compostos orgânicos (2014)** Disponível em: <http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/Comunicacao_161.pdf> Acesso em: 06 de mar. 2018.

CRUZ, M. A. R F; GUERRA, A. R; ISHIKAWA, D. N; ALFAYA, R. V. S; ALFAYA, A. A. S. **Farinha da casca da banana: um biossorvente para metais pesados de baixo custo (2009)** Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T0837-1.pdf>> Acesso em: 26 de fev. 2018.

DAMATTO JUNIOR, E. R; BOAS, R. L. V; LEONEL, S; FERNANDES, D. M. **Avaliação nutricional em folhas de bananeira 'prata-anã' adubadas com composto orgânico.** Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 28, n. 1, p. 109-112, Abril 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v28n1/29704.pdf>> Acesso em: 25 de fev. 2018.

EMAGA, T. H. et al. Characterization of pectins extracted from banana peels (Musa AAA) under diferente conditions using an experimental design. **Food Chemistry**, v. 108, p. 463-471, 2008.

ESPINOSA, L. F. et al. **Reaproveitamento da Casca de Ovo para Remoção de**

Íons Cd²⁺ (2015) Disponível em:

<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/engenharias/reaproveitamento%20da%20casca%20de%20ovo.pdf>> Acesso em: 08 de jun. 2018.

FAGUNDES, Júnio René Toledo; ZUQUETTE, Lázaro Valentin. **Capacidade de sorção de materiais inconsolidados residuais da Formação Botucatu, região de São Carlos (SP), Brasil.** *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 494-506, 2009. Disponível em: <<http://rbg.sbgeo.org.br/index.php/rbg/article/view/1474> >Acesso em: 20 de jun. 2018.

FERREIRA, M. C; COSTA, S. M. L; PASIN, L. A. A. **Uso de resíduos da agroindústria de bananas na composição de substratos para produção de mudas de pau pereira.** *Nativa, Sinop*, v. 03, n. 02, p. 120-124, abr./jun. 2015. Disponível em: <periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1839> Acesso em: 06 de mar. 2018.

FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil.** Minas Gerais, 2014.

FIGUEIREDO, J. L; RIBEIRO, R. F. **Catálise heterogênea.** Gulbernkian: Fundação Calouste, 1987.

FRANQUETO, R. **Descoloração dos corantes azul QR-19 e magenta por processo de adsorção com uso de farinha de casca de banana.** *R. Gest. Sust. Ambient.*, Florianópolis, v. 5, n. 2, p. 247-264, mar. 2017. Disponível em: <http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/4196/2850> Acesso em: 09 de mar. 2018.

FUNGARO, D. A; BORRELY, S. I; CARVALHO, T. E. M. **Remoção do corante reativo Laranja 16 de solução aquosa usando zeólita de cinzas de carvão modificada por surfactante** (2010) Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2010/eventos/15583.pdf>> Acesso em: 28 de jun. 2018.

GASPAR, A. T. F. S. **Bioadsorção de cromo em algas marinhas utilizando coluna extratora** (2003) Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266468/1/Gaspar_AnaTeresaFerreiraSilva_M.pdf> Acesso em: 28 de jun. 2018.

GOMES, M. **Produção brasileira de banana atinge R\$ 14 bilhões por ano** (2017) Disponível em: <http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2017/10/23/internas_economia,635500/producao-brasileira-de-banana-atinge-r-14-bilhoes-por-ano.shtml> Acesso em: 03 de mar. 2018.

HO, Y, S.; MCKAY, G. **Pseudo-second order model for sorption processes.** *Process Biochem.* v. 34, p. 451-465, 1999.

JESUS, D. M. A; ROCHA, J. F; ALFAYA, A. A. S. **Utilização da farinha da casca da banana na remoção de corante têxtil em solução aquosa** (2005) Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/34ra/resumos/T1192-1.pdf>> Acesso em: 10 de mar. 2018.

KUNZ, et al. **Novas Tendência no Tratamento de Efluentes Têxteis.** Química Nova, vol. 25, p. 78-82. 2002.

LACERDA, K. D. R. **Estudo da secagem do mesocarpo do coco verde (cocus nucifera) e sua utilização como adsorvente do corante azul cassafix CA – 2G** (2017) Disponível em: <http://pos-graduacao.uepb.edu.br/ppgcta/download/dissertacoes-defendidas/dissertacoes_2017/ESTUDO-DA-SECAGEM-DO-MESOCARPO-DO-COCO-VERDE-Cocus-nucifera-E-DA-SUA-UTILIZACAO-COMO-ADSORVENTE-DO-CORANTE-AZUL-CASSAFIX-CA-E28093-2G-KAMILA-DEYS-RODRIGUES-LACERDA.pdf> Acesso em: 27 de fev. 2018.

LEÃO, M. D. et al. **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas.** 1 edição. Projeto Minas Ambiente. Editora Segrac. Belo Horizonte, 2002.

LIMA, H. H. C. **Estudo do efeito de adsorvente alternativo de casca de laranja pera rio na adsorção de corante têxtil vermelho reativo BF-4G** (2014) Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2169/1/PB_COQUI_2013_2_08.pdf> Acesso em: 25 de mar. 2018.

LINHARES, L. A; EGREJA FILHO, F. B; IANHEZ, R; SANTOS, E. A. **Aplicação dos modelos de Langmuir e Freundlich na adsorção de cádmio e chumbo em diferentes classes de solos brasileiros.** Revista Tecnológica, v. 17, p. 49-60, 2008.

NASCIMENTO, K. K. R. **Avaliação da remoção de corante têxtil presente em solução aquosa utilizando casca de laranja como adsorvente natural** (2018). Disponível em: <<http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/3030/2/PDF%20-%20Ketyla%20Karla%20Rodrigues%20do%20Nascimento.pdf>> Acesso em: 08 de jun. 2018.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISA EM ALIMENTAÇÃO – NEPA. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: Universidade Federal de Campinas – UNICAMP, 2011.

OLIVEIRA, M. H. Q; BRITO, S. M. O; CORDEIRO, J. L. C; ARAGÃO, I. R. **Modelagem da adsorção de azul de metileno sobre o resíduo de casca de banana modificada por hidróxido de sódio** (2017) Disponível em: <periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/download/2274/1754> Acesso em: 02 de mar. 2018.

OLIVEIRA, S. P; SILVA, W. L. L; VIANA, R. R. **Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio**. Cerâmica 2013.

PERILLI, T. A. G; SICUPIRA, D. C; MANSUR, M. B; LADEIRA, A. C. Q. **Avaliação da capacidade adsorptiva de carvão ativado para a remoção de manganês**. HOLOS 2014.

SENA, J. V. C. **Aspectos da produção e mercado da banana no nordeste** (2011) Disponível em: <http://edi.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/etene/docs/ire_ano5_n10.pdf> Acesso em: 25 de fev. 2018.

SHINZATO, Mirian Chieko et al. **Remoção de Pb^{2+} e Cr^{3+} em solução por zeólitas naturais associadas a rochas eruptivas da formação serra geral, bacia sedimentar do paraná** (2009) Disponível em: <http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol32No8_1989_01-AR08229.pdf> Acesso em: 10 de jun. 2018.

SILVA, D. F. P; PEREIRA, A. L. S; BASTOS, A. C; ROWE, R. V. A. **reaproveitamento do resíduo da casca de ovo na adsorção de azul de metileno**. Anais do 6 Fórum Científico da FUNEC: Educação, Ciência e Tecnologia: “Biodiversidade, Qualidade de Vida e Cidadania”, 3 a 6 de novembro, Santa F do Sul (SP), v. 6, n. 6, 2015.

SILVA, M. C. **Degradação de corantes e remediação de efluentes têxteis por extrato bruto de peroxidase de nabo** (2011) Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1667/1/TESE_Degrada%C3%A7%C3%A3o%20de%20corantes%20e%20remedia%C3%A7%C3%A3o%20de%20efluentes%20t%C3%AAxteis%20por%20extrato%20bruto%20de%20peroxidase%20de%20nabo.pdf> Acesso em: 25 de fev. 2018.

SILVA, N. C. R. **Utilização da casca de banana como bioissorvente para a adsorção de chumbo (II) em solução AQUOSA** (2014) Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5168/1/CM_COEAM_2014_1_18.pdf> Acesso em: 25 de fev. 2018.

SILVA, R. N.; NASCIMENTO, R. L. G. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em casca de banana** (2015) Disponível em: <<http://leg.ufpi.br/20sic/Documentos/RESUMOS/Modalidade/Humanas/dca5672ff3444c7e997aa9a2c4eb2094.pdf>> Acesso em: 04 de mar. 2018.

SOUSA, D. D. **Produção e avaliação da farinha da casca de banana como bioadsorvente na remoção de corantes têxteis em águas residuárias** (2015) Disponível em: <<http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/tede/2251/2/PDF%20-%20Dennis%20Dantas%20de%20Sousa.pdf>> Acesso em: 17 de fev. 2018.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M.; GOMES, A. S. **Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno.** *Química Nova*, v. 24, n. 6, p. 808-818, 2001.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil** (2014) Disponível em: <<http://abqct.com.br/artigost/artigoesp33.pdf>> Acesso em: 22 de mar. 2018.

VASQUES, A. R. **Caracterização e aplicação de adsorvente para remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo** (2008) Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/90859>> Acesso em: 25 de fev. 2018.

VASQUES, A. R.; SOUZA, S. M. A. G. U; WEISSENBERG, L; SOUZA, A. A. U; VALLE, J. A. B. **Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil.** *Eng Sanit Ambient*, v. 16, n. 3, p. 245-252, 2011.

XAVIER, C. S. F. **Aplicação do planejamento experimento na avaliação do mesocarpo do coco verde para remoção de corantes têxteis presentes em águas residuárias** (2017) Disponível

em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/15728/1/PDF%20-%20Cinthia%20Sany%20Fran%C3%A7a%20Xavier.pdf>> Acesso em: 08 de jun. 2018.