



Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM SISTEMAS
AGROINDUSTRIAIS-PPGSA

PAULO JOSÉ DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO
DE SOLUÇÕES DE CORANTES TÊXTEIS A BASE DE QUITOSANA**

POMBAL – PB
2019

PAULO JOSÉ DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO
DE SOLUÇÕES DE CORANTES TÊXTEIS A BASE DE QUITOSANA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas Agroindustriais, modalidade profissional, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

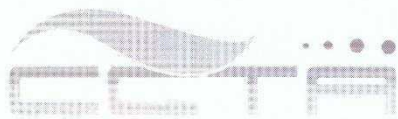
Orientador: Prof. D. Luiz Gualberto de A. Sobrinho.

A553d Andrade, Paulo José de.
Desenvolvimento de um sistema de filtração para tratamento de
soluções de corantes têxteis a base de quitosana / Paulo José de Andrade.
– Pombal, 2020.
55 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia
Agroalimentar, 2019.
“Orientação: Prof. Dr. Luiz Gualberto de Andrade Sobrinho”.
Referências.

1. Tratamento de efluentes. 2. Indústria têxtil. 3. Adsorção. I. Andrade
Sobrinho, Luiz Gualberto de. II. Título.

CDU 628.3(043)



Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar



CAMPUS DE POMBAL


“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAÇÃO PARA TRATAMENTO DE SOLUÇÕES DE CORANTES TEXTEIS A BASE QUITOSANA”


Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal-PB, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre (M. Sc.) em Sistemas Agroindustriais.

Aprovada em 12 / 12 / 2019

COMISSÃO EXAMINADORA


Luiz Gualberto de Andrade Sobrinho
Orientador


Roberlucia Araújo Candeia
Examinadora Interna


Saul Barbosa Guédes
Examinador Externo

POMBAL-PB
2019

Aos meus pais José e Rita (*in memoriam*) a quem devo todas as vitórias que obtive na minha vida. A minha esposa Vanusa, companheira de todos os momentos, pela compreensão e carinho ao longo de todos esses anos.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, baseado em minha crença num Criador responsável pela nossa existência, agradeço a Ele. Obrigado meu Deus, por me fazer seguir em frente nos momentos em que cogitei desistir e por ter ao meu lado pessoas que sempre me apoiaram em todos os momentos.

Aos meus pais, José e Rita (*in memoriam*), a minha base! Hoje estou em busca de conhecimento, mas para estar aqui, tive e tenho apoio dos dois. Obrigado pelo amor e por sempre acreditarem em mim, e por serem obstinados a dar aos seus filhos a oportunidade que não tiveram.

Aos meus irmãos Raimunda, Juraci, Terezinha, Sebastião e Francisco, pelos ensinamentos, conselhos e apoio de todos vocês. Agradeço também aos meus sobrinhos, em especial José Benito, Mateus e Marcos, companheiros de pesquisa e entretenimento nos dias mais cansativos.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, que me auxiliaram direta e indiretamente para a conclusão desta jornada. Cada um em sua particularidade contribuiu fundamentalmente para essa conquista. Gostaria de destacar aqui as pessoas de Iohana, Welder e Maria do Carmo pela imensa disponibilidade de me auxiliar em todas as horas.

Aos órgãos de Educação Municipal e Estadual de Cajazeiras nas pessoas da professora Inês (Gestora da Escola Municipal de Ensino Infantil e Fundamental José Antônio Dias) e professora Campus (Gestora da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Monsenhor Constantino Vieira), pelo incentivo e disponibilidade durante meu curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luíz Gualberto, com certeza, não foi apenas um orientador, pois em muitos momentos pude contar com a sua humana compreensão, além da boa amizade construída. Agradeço as críticas construtivas, pois sempre objetivava algo melhor. Sem sua orientação e exemplo nada disso teria sido possível. Obrigado!

Agradeço o apoio que tive nos Laboratórios de Química e Bioquímica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Cajazeiras, nas pessoas dos professores José Gorete e Éder, bem como as técnicas de laboratório Alcântara e Raquel.

Faço aqui uma menção especial aos professores José Gorete e José Estrela, ambos responsáveis pela minha iniciação a pesquisa científica, me proporcionando a oportunidade de aprender mais e desejar ir mais longe.

Ao Programa de Pós-graduação *Stricto sensu* em Sistemas Agroindustriais pela oportunidade oferecida.

“Para nós os grandes homens não são aqueles que resolveram os problemas, mas aqueles que os descobriram”.

(Albert Schweitzer)

RESUMO

A quitosana vem sendo usada em vários trabalhos no tratamento de águas residuárias, devido a sua capacidade adsorvente. Com base nesta característica o presente trabalho avaliou o uso da quitosana para remoção dos corantes Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 em soluções aquosas de diferentes concentrações, seguida de posterior filtração como forma alternativa de tratamento de efluentes de corantes para reduzir a descarga desses compostos nos corpos hídricos. A taxa de descoloração das soluções padrões dos corantes foram avaliadas usando a espectrofotometria UV-Visível e observou-se que no tratamento da solução da quitosana (200 mg.L^{-1}) com diferentes concentrações dos corantes ocorreu a redução de 90% dos teores dos corantes. Também se verificou que o tempo de agitação de 10 minutos, da quitosana com as soluções aquosas dos corantes, é o necessário para descolorir as soluções em torno de 90%. Tais resultados permitem diagnosticar a eficácia da quitosana combinada a um filtro de baixo custo no processo de extração de corantes.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes. Indústria têxtil. Adsorção.

ABSTRACT

Chitosan has been used in various works in wastewater treatment due to its adsorbent capacity. Based on this characteristic, the present work evaluated the use of chitosan to remove the yellow 03, green 20 and navy 16 dyes in aqueous solutions of different concentrations, followed by subsequent filtration as an alternative treatment of dye effluent to reduce the discharge of these dyes compounds in the environment. The discoloration rate of standard dye solutions was evaluated using UV-Visible spectrophotometry and it observed that in the treatment of chitosan solution (200 mg.L^{-1}) with different dye concentrations there was a reduction of 90% of the dye contents. It has also been found that the 10 minutes stirring time of chitosan with aqueous dye solutions is necessary to discolor the solutions about 90%. These results allow us to diagnose the effectiveness of chitosan combined with a low cost filter in the dye extraction process.

Keywords: Wastewater treatment. Textile industry. Adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Etapas do processo produtivo na indústria têxtil.....	17
Figura 2	–	Diagrama de obtenção da quitina.....	26
Figura 3	–	Diagrama de obtenção da quitosana.....	27
Figura 4	–	Materiais do sistema filtrante.....	32
Figura 5	–	Fotografia do filtro.....	33
Figura 6	–	Diagrama de procedimentos experimentais.....	34
Figura 7	–	Curva granulométrica dos materiais presentes no filtro.....	39
Figura 8	–	Descoloração das soluções em função das concentrações de quitosana.....	41
Figura 9	–	Descoloração das soluções em função das suas concentrações quando utilizado 200 mg.L ⁻¹ de quitosana.....	42
Figura 10	–	Eficiência de descoloração em função do tempo de agitação quando utilizado 200 mg.L ⁻¹ de corante e 600 mg.L ⁻¹ de quitosana.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Volume dos despejos provenientes de uma indústria de tecidos de raiom-viscose, algodão, poliéster-algodão e de poliéster-nylom.....	17
Tabela 2	– Faixa de concentrações (mg.L^{-1}) das soluções padrão dos corantes.....	30
Tabela 3	– Comprimentos de onda para cada corante para medição da absorbância....	31
Tabela 4	– Equação da reta e coeficiente de correlação (R^2) obtidos para as curvas de calibração das soluções padrões dos corantes.....	31
Tabela 5	– Tratamento de adsorção das soluções padrões dos corantes com quitosana	33
Tabela 6	– Análise granulométrica do Material 1.....	36
Tabela 7	– Análise granulométrica do Material 2.....	37
Tabela 8	– Análise granulométrica do Material 3.....	37
Tabela 9	– Análise granulométrica do Material 4.....	38
Tabela 10	– Composição do filtro e proporção em altura.....	38
Tabela 11	– Análise granulométrica da quitosana.....	39
Tabela 12	– Eficiência da descoloração com 200mg.L^{-1} de corante com agitação por 10 minutos variando a quitosana de 200 a 1000mg.L^{-1}	40
Tabela 13	– Eficiência da descoloração variando o corante de 200 a 1000mg.L^{-1} com agitação por 10 minutos aplicando 200mg.L^{-1} de quitosana.....	42
Tabela 14	– Eficiência de descoloração em função do tempo de agitação quando utilizado 200mg.L^{-1} de corante e 600mg.L^{-1} de quitosana.....	43

LISTA DE SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADMI	American Dye Manufacturers Institute (Instituto Americano de Fabricantes de Tintura)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CFP	Centro de Formação de Professores
FAO	Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)
NBR	Normas Brasileiras
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
USEPA	United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Absorbância
AM	Amarelo 03
ANOVA-	Analysis of variance (Análise de Variância)
AZ	Azul marinho 16
B	Caminho óptico
C	Concentração
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
GD	Grau de Desacetilação
GD %	Porcentagem do grau de desacetilação
P	Energia transmitida
P₀	Energia radiante
PET	Politereftalato de Etileno
pH	Potencial hidrogeniônico
DQO	Demanda química de oxigênio
R²	Coefficiente de determinação
rpm	Rotações por minuto
S	Siemens
T	Transmitância
UV-vis	Ultravioleta-Visível
VE	Verde 20
ε	Absortividade molar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 A água	16
3.1.1 Importância ambiental, econômica e industrial.....	16
3.1.2 Contaminação de Águas Residuárias pela Indústria Têxtil.....	16
3.1.3 Legislação das Águas Residuárias da Indústria Têxtil.....	18
3.2 Corantes Têxteis	19
3.2.1 Definição e aplicação.....	19
3.2.2 Classificação dos Corantes Têxteis.....	20
3.2.3 Os Corantes e o Meio Ambiente.....	20
3.3 Tratamento dos efluentes da Indústria Têxtil	21
3.3.1 Métodos Químicos.....	22
3.3.2 Métodos Físicos.....	22
3.3.3 Métodos Biológicos.....	22
3.4 Processo de Adsorção	23
3.4.1 Adsorção física e química.....	23
3.4.2 Biossorção.....	24
3.5 Quitina e Quitosana	25
3.5.1 Origem, composição e obtenção.....	25
3.5.2 Aplicações da quitosana.....	27
3.5.3 A Quitosana e a adsorção de Corantes.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Procedimento experimental	30
4.1.1 Corantes Têxteis.....	30
4.1.2 Preparação das soluções padrões dos Corantes.....	30
4.1.3 Medidas da absorbância das soluções padrões dos Corantes.....	30
4.2 Sistema de filtração	31
4.2.1 Análise granulométrica do material do filtro.....	31
4.2.2 Montagem do Sistema de Filtração.....	32
4.3 Tratamento de adsorção das soluções padrões dos Corantes com quitosana	33
4.4 Determinação da absorbância e quantificação da descoloração	34
4.5 Análises estatísticas	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 Análise granulométrica do material do filtro e da quitosana	36
5.2 Avaliação da retenção dos corantes Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 na concentração de 200mg.L⁻¹ pelo tratamento com variadas concentrações de quitosana seguida da filtração	40
5.3 Avaliação da Retenção dos corantes Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 nas concentrações de 200 a 1000mg.L⁻¹ pelo tratamento com 200mg.L⁻¹ de quitosana seguida da filtração	41
5.4 Avaliação da Retenção dos corantes pelo tratamento com 600mg.L⁻¹ de quitosana em diversos tempos de agitação seguida da filtração	42
6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Águas residuárias são todas as águas descartadas por setores dos sistemas agroindustriais e urbanos que necessitam de tratamento adequado para remover impurezas que possam causar danos ao ecossistema e a saúde humana (CONAMA 430/2011). Estima-se que 70% das descargas industriais nos países em desenvolvimento sejam despejadas sem tratamento (UNESCO, 2009) e que, conseqüentemente, acarreta a poluição dos rios, reservatórios de água e oceanos.

Na indústria têxtil são utilizadas grandes quantidades de água e corantes, sendo que muitos desses corantes possuem moléculas de estrutura complexas, as quais são de difícil degradação. Além de alterar a coloração, a presença desses corantes nos efluentes afeta a solubilidade de gases dos corpos receptores e reduz a penetração da luz solar, diminuindo a capacidade de aeração dos corpos hídricos e, conseqüentemente, prejudicando o processo de fotossíntese (CARDOSO, 2012).

O efluente da indústria têxtil apresenta uma variação ampla, de componentes químicos, na sua composição devido às características de suas fibras e dos produtos químicos usados em diferentes processos. Existem mais de 100 mil corantes disponíveis no mercado com uma produção anual estimada de mais de 7×10^5 toneladas sendo que 10 a 50% desses corantes são desperdiçados no efluente (KHANDEGAR; SAROHA, 2013).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – ABIT (2018), o Brasil foi a quinta maior indústria têxtil do mundo, o segundo maior produtor de denim e o terceiro na produção de malhas. O setor têxtil é o 2º maior empregador da indústria de transformação no nosso país, perdendo apenas para o setor de alimentos e bebidas.

No âmbito regional, pode-se destacar o município de São Bento-PB, conhecido nacionalmente pela produção de redes de dormir, com uma produção em torno de 12 milhões de redes/ano e o consumo 18 milhões/kg de fio ao ano. Das indústrias instaladas no município, 93% são de redes de dormir, correspondendo a aproximadamente 70 empresas formais e mais de 300 empresas informais. Estima-se que cerca de 80% das pessoas economicamente ativas trabalham na produção de redes (CARNEIRO, 2011).

Muitos estudos têm sido desenvolvidos como forma de propor diferentes métodos de tratamento de corantes têxteis. Dentre esses tratamentos pode-se citar os métodos físico-químicos como a ozonização (SANTOS *et al.*, 2011), fluxo subcrítico (HOSSEINI; ASGHARI; YOSHIDA, 2010) e floculação (FURLAN *et al.*, 2010). No entanto, os elevados custos destes tipos de tratamento enfatizam a necessidade de métodos alternativos, tais como o tratamento

biológico e o uso de adsorventes como argilas, bagaço de cana, madeira e outros resíduos (DILARRI *et al.*, 2016).

O tratamento biológico envolvendo micro-organismos que degradam o corante tem sido estudado e proposto como uma alternativa (PRIYA *et al.*, 2015). No entanto, a degradação, muitas vezes requer um longo período de tempo para alcançar resultados satisfatórios e há também a possibilidade de gerar substâncias que são mais tóxicas que o próprio corante inicial (ALMEIDA; CORSO, 2014). Outro problema apontado, é que ao mesmo tempo em que as bactérias e os fungos degradam o corante, alguns agentes patogênicos oportunistas, tais como *Aspergillus niger* (ALMEIDA; CORSO, 2014) e *Pseudomonas aeruginosa* (JADHAV *et al.*, 2010) também podem atuar de forma negativa no processo de tratamento do efluente.

A adsorção é uma técnica eficiente, de baixo custo, que pode empregar vários adsorventes (OLIVEIRA *et al.*, 2014), outras vantagens da adsorção são, o rápido tempo de contensão do resíduo, não apresenta necessidade de uma grande área física para a aplicação do tratamento e a possibilidade de utilizar um resíduo já existente como material adsorvente (MORÃO *et al.*, 2016).

O material adsorvente, que vem recebendo grande destaque usado no tratamento de efluentes, é a quitosana. Este adsorvente é o segundo polissacarídeo mais abundante da natureza, e é encontrado nos crustáceos, em exoesqueletos de alguns insetos e na parede celular de muitos fungos e algas (HUERTA *et al.*, 2012). Essa matéria prima possui diversas aplicações biotecnológicas, biomédicas e farmacêuticas, pois apresenta características importantes, tais como biocompatibilidade, hidrofiliçidade, biodegradabilidade, propriedades antibactericidas e bioatividade, além de não apresentar toxicidade (CARVALHO, 2010; VASQUES *et al.*, 2011).

Considerando os impactos ambientais causados pelo lançamento indevido de efluentes no meio ambiente, conjuntamente com a inviabilidade das principais técnicas de tratamento, o presente trabalho teve como meta primordial estudar a eficiência e a aplicabilidade de um tratamento alternativo, utilizando o polímero quitosana como material adsorvente de corantes diretos, seguido de um processo de filtração simples.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema para remoção de corantes têxteis, provenientes de soluções coloridas, usando o tratamento à base de quitosana.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar a eficiência do polímero natural quitosana para adsorção de corantes;
- ✓ Mensurar o índice de adsorção de corantes pela quitosana, em função do descoloramento das soluções dos corantes;
- ✓ Verificar a eficiência do sistema de filtração desenvolvido;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A água

3.1.1 Importância ambiental, econômica e industrial

Embora esteja intrinsecamente ligada à manutenção metabólica de todos os seres vivos, a relação dos humanos com a água varia de acordo com os contextos nos quais o indivíduo está inserido, representando que a história, o simbolismo e os rituais em relação à água expressam valores diferentes para cada comunidade (JÉQUIER; CONSTANT, 2010). Para tanto, o debate da crise hídrica da atualidade, vai além da escassez da própria água, pois envolve questões éticas, culturais, bem como problemas relacionados à má gestão pública do recurso, dentro de um modelo econômico que busca resultados imediatistas (TARGA; BATISTA, 2015).

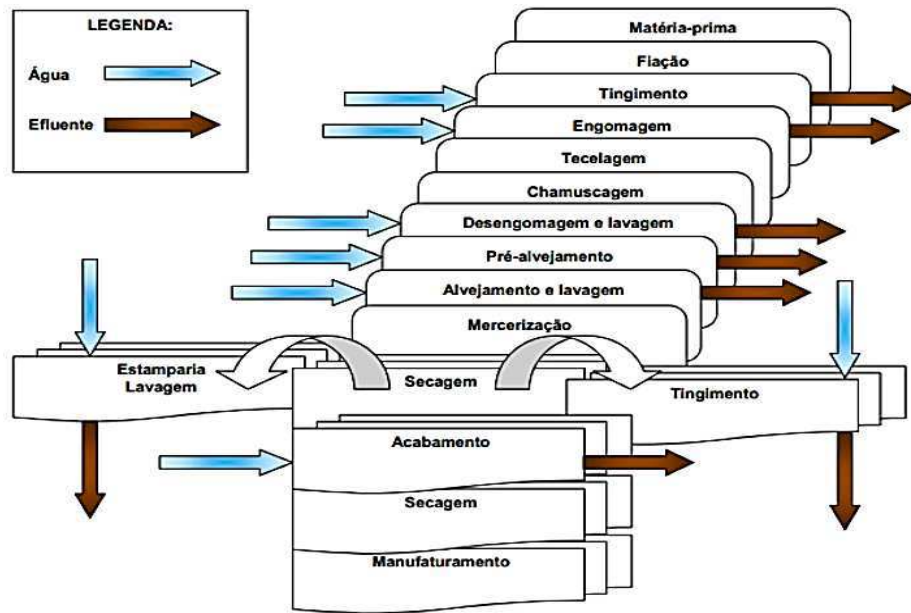
As várias utilizações da água pelos homens visam na maioria dos casos atenderem as necessidades sociais, pessoais e das atividades econômicas (agrícolas e industriais). Entretanto, quando esses diversos usos são feitos de maneira inadequada há um comprometimento dos recursos hídricos e ocorrem conseqüentemente alterações na qualidade e quantidade das águas (SOUZA *et al.*, 2014).

No setor industrial, as operações produtivas possuem seu reflexo no meio ambiente em todas as etapas do processo, desde a obtenção de matérias primas até a geração de resíduos e emissão de agentes potencialmente poluidores. Além disso, os avanços da velocidade de lançamento de produtos somados à diminuição de sua vida útil têm levado ao aumento no número de produtos descartados no meio ambiente (BAENAS *et al.*, 2011).

Frente a isso, a preocupação com a utilização dos recursos hídricos tem aumentado nos últimos anos. A falta de água, desperta nas empresas e na sociedade uma maior conscientização pelo seu uso racional. O termo recursos hídricos então, compreende as águas destinadas a determinado uso, sendo que a gestão desses, possibilita à empresa benefícios sociais, ambientais e econômicos, assim como, a inserção de práticas ambientais (ARAÚJO, 2017).

3.1.2 Contaminação de Águas Residuárias pela Indústria Têxtil

Na indústria têxtil a água é utilizada para lavagem, resfriamento e tingimento, sendo o tingimento, a etapa que mais consome água (SILVA, 2015). O processo produtivo na indústria têxtil é representado conforme a Figura 1:

Figura 1 – Etapas do processo produtivo na indústria têxtil

Fonte: Adaptado por Silva (2015).

De acordo com Braile e Cavalcanti (1993), para 1000 m de tecido processado por dia podem ser obtidos até 6800m³ de despejo. A Tabela 1 apresenta o volume de despejo obtido nas diferentes etapas da produção.

Tabela 1 – Volume dos despejos provenientes de uma indústria de tecidos de raiom-viscose, algodão, poliéster-algodão e de poliéster-nylom

Origem dos despejos	Volume em m ³ /dia
Tingimento de fios	80
Engomagem	4
Desengomagem e lavagem	864
Purga e lavagem	1200
Alvejamento e lavagem	1728
Mercerização e lavagem	1037
Estamparia	549
Tinturaria	37
Lavagem (ensaboadeira)	1350
Vaporização	5
Total	6854

Fonte: Braile e Cavalcanti (1993).

Efluentes da indústria têxtil possuem uma composição e concentração variadas, de acordo com o processo de produção utilizado. No geral, as águas residuárias contêm inúmeros compostos dissolvidos, desde sais orgânicos, a ácidos e bases, usualmente tóxicas, e fortemente

coloridas. Além do volume excessivo de água necessária para os processos, ainda há o agravante dos contaminantes, principalmente dos corantes empregados (FREIRE *et al.*, 2018).

Pareceres recentes indicam que cerca de 12% dos corantes sintéticos utilizados na indústria são perdidos durante a fabricação e o processamento e que 20% destes mesmos corantes, entram em contato com o meio ambiente através dos efluentes (KALPANA *et al.*, 2014).

Os corantes presentes em efluentes líquidos podem afetar a vida aquática devido à presença de metais, substâncias aromáticas, etc. Descarga imprópria de corantes azo e seus metabólitos em ecossistemas aquáticos é esteticamente desagradável e leva a uma redução na penetração da luz solar, que por sua vez diminui a atividade fotossintética, a concentração de oxigênio dissolvido, e a qualidade da água, e tem efeitos tóxicos agudos sobre a flora e fauna aquáticas, causando graves problemas ambientais. (RECK, 2016)

Além disso, os corantes azo também causam um impacto negativo em termos de carbono orgânico total (COT), demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Em relação aos seus efeitos nos organismos, os corantes são cancerígenos, mutagênicos ou teratogênicos em várias espécies microbiológicas de peixe. Eles também podem causar danos graves para os seres humanos, tais como disfunção do rim, sistema reprodutivo, fígado, cérebro e sistema nervoso central (RECK, 2016).

3.1.3 Legislação das Águas Residuárias da Indústria Têxtil

A qualidade da água é um conceito relativo que depende diretamente do uso a que se destina seja este para balneabilidade, consumo humano, irrigação, transporte e manutenção da vida aquática. Para cada um dos usos existe um padrão de qualidade especificado pela legislação vigente. Assim, a Política Normativa Nacional de Uso da Água, como consta na Resolução nº 357/05 do CONAMA (2005), que estabelece parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos estranhos, considerando os seus diferentes usos.

Para obter uma estimativa da contaminação existente na água, é necessária a realização de análises que avaliem aspectos físicos, químicos e microbiológicos. Com base nos valores obtidos nessas análises é possível verificar se os corpos hídricos se encontram de acordo com o uso ao qual eles se destinam.

A Resolução nº 357/05 do CONAMA (2005), estabelece os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos para a classificação dessas águas. Essa resolução admite cinco classes: especial, I, II, III e IV, sendo que a classe especial pode ser utilizada para consumo

humano apenas com desinfecção, enquanto que as classes I, II e III necessitam de tratamento simplificado, convencional e avançado, respectivamente.

Complementarmente a Resolução nº 430/11 do CONAMA (2011), recomenda que não é permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencional em corpos de água de classes especial, Classe I e II.

O artigo 16 da seção II da Resolução nº 430/11 do CONAMA (2011), cita “que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam às condições e padrões previstos no referido artigo, resguardadas outras exigências cabíveis”, entre as exigências tem-se a faixa de pH entre 5 a 9.

Entretanto, não há na legislação brasileira limite permitido de concentrações de corantes permitidas para as águas residuárias oriundas de empresas têxteis, e nem mesmo na Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA. Entretanto há órgãos ambientais de Estados Americanos, dentre tais destaca-se que no Estado de *Rhode Island* estabelece o valor de concentração de corantes têxteis de 200 ADMI (American Dye Manufacturers Institute) para que o efluente seja lançado em corpo hídrico. Já no Estado de Wisconsin, o efluente líquido poderá ser destinado a um corpo hídrico quando estiver teores de concentração na faixa de 225 a 600 ADMI (KAO *et al.*, 2001).

3.2 Corantes Têxteis

3.2.1 Definição e aplicação

Corantes são substâncias de coloração intensa de origem natural ou sintética que podem ser fixadas a diversos substratos transmitindo a eles a sua cor característica, sendo que uma das suas principais aplicações se encontra no tingimento de tecidos (GOMES *et al.*, 2010).

Segundo Guaratini e Zanoni (2000), no processo de tingimento, utilizam-se diversos corantes, os quais são compostos por moléculas que compreendem dois componentes-chave: o grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que se liga às fibras do tecido. Ainda com base no mesmo autor, “as formas de fixação da molécula do corante às fibras geralmente são feitas em solução aquosa e pode acontecer em quatro tipos de interações: ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waals e covalentes” (GUARATINI; ZANONI; 2000).

3.2.2 Classificação dos Corantes Têxteis

A indústria utiliza uma grande variedade de corantes, entre os quais estão os catiônicos e os aniônicos. Desses, os mais utilizados e que causam mais preocupação são os aniônicos, os quais são classificados em diretos, ácidos e reativos (ROBINSON *et al.*, 2001).

Os corantes diretos se caracterizam como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através de interações de Van der Waals. Esta classe de corantes é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (díazo, triazo e etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Outro grande grupo de corantes aniônicos são os corantes ácidos, em sua estrutura pode-se encontrar de um a três grupos sulfônicos o que torna o corante solúvel em água, propriedade fundamental para sua aplicação em fibras proteicas (lã, seda) e em fibras de poliamida sintética. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação (DEL MONEGO, 2007).

Os corantes reativos reagem quimicamente para formar uma ligação covalente com a fibra. A ligação ocorre entre um átomo de carbono da molécula do corante e algum átomo de oxigênio, nitrogênio ou enxofre da fibra (CHRISTIE, 2003). A estrutura geral de um corante reativo é dada por um grupo cromóforo, grupo ponte, grupo reativo à fibra e grupo de solubilização, e quando os corantes reativos interagem com as fibras celulósicas, estes podem reagir por substituição nucleofílica aromática ou por adição nucleofílica sobre alquenos (CHRISTIE, 2003).

3.2.3 Os Corantes e o Meio Ambiente

A indústria têxtil utiliza processos de tingimento que envolvem muitas etapas dependentes da natureza das fibras têxteis, porém são três as etapas mais importantes: a montagem, a fixação e o tratamento final. Após essas etapas, há o banho de lavagem para retirada do excesso de corante original não fixado à fibra. É justamente nesta etapa: o banho de lavagem, que, do ponto de vista ambiental, situa-se como um dos grandes problemas do setor têxtil (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Estudos indicam que aproximadamente 15% da produção mundial de corantes, aproximadamente 1,2 toneladas ao dia, é perdida para o meio ambiente durante a síntese, processamento e sua aplicação, sendo que a perda correspondente à incompleta fixação dos

corantes durante o processo de tingimento e atinge de 10 - 20% durante a etapa de tingimento das fibras têxteis. Já no Brasil, das aproximadamente 20 t/ano de corantes consumidos pela indústria têxtil, cerca de 20 % são descartados como efluentes (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Uma das características mais marcantes do efluente têxtil é a cor, que ocorre devido à presença de corantes que não se fixam as fibras durante o processo de tingimento. Devido à sua própria natureza, os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em baixas concentrações (TWARDOKUS, 2004).

Este comportamento apresenta vantagens e desvantagens, pois uma pequena quantidade de corantes lançada em meios aquáticos pode causar uma acentuada mudança de coloração dos rios, mas pode também ser facilmente detectado pelo público e autoridades que controlam os assuntos ambientais (TWARDOKUS, 2004).

Desta forma, a indústria têxtil possui uma grande responsabilidade pela contaminação de corpos de água, uma vez que utiliza extensivamente corantes para tingimento das fibras. A presença de corantes, mesmo que em pequenas concentrações, afetam a vida aquática e a cadeia alimentar, sendo, portanto de extrema importância ambiental a remoção dos mesmos (ÖZACAR; SENGIL, 2005).

3.3 Tratamento dos efluentes da Indústria Têxtil

A aplicação de técnicas de mitigação de impactos ambientais aos ecossistemas cresceu consideravelmente nos últimos anos, tendo em vista o aumento da pressão exercida pela legislação sobre as empresas, levando as mesmas a buscar técnicas que necessitam de um capital mais acessível.

Dentre essas medidas destacam-se o reuso da água, o reaproveitamento do lodo gerado e o tratamento de efluentes, além do nível secundário (ZOLIN *et al.*, 2014).

A etapa de tratamento de efluentes, empregada nas indústrias têxteis, é considerada um grande setor de transformação, cujas técnicas vêm sendo aperfeiçoadas nas últimas décadas, com o objetivo de torná-las cada vez mais eficientes e baratas (KHATRI *et al.*, 2015).

Os tratamentos de efluentes têxteis coloridos são baseados em processos físicos, químicos, biológicos, bem como os tratamentos combinados entre outras tecnologias, e são considerados eficazes (BRILLAS, 2015).

3.3.1 Métodos Químicos

Os processos químicos mais utilizados no tratamento de efluentes industriais são: coagulação ou floculação combinados com flotação e filtração, oxidações convencionais por agentes oxidantes e ozonização. Entretanto, apesar de sua eficácia, todos os métodos químicos supracitados, geralmente são muito caros, porque geram lodos, que é outro resíduo que posteriormente necessitará ser tratado. Somados a esses fatores, ainda existe a possibilidade de um problema de poluição secundária aparecer devido ao excessivo uso de produtos químicos (PINTO, 2012).

3.3.2 Métodos Físicos

Os principais processos de tratamento físico são: coagulação, flotação e sedimentação, eles apresentam elevada eficiência na remoção de material particulado e são empregados com a finalidade de remover os organismos patogênicos e as substâncias químicas orgânicas ou inorgânicas existentes na água e nos efluentes domésticos e industriais (NEVES, 2011).

Entretanto, se mostram poucos eficientes na remoção de cor e dos compostos orgânicos dissolvidos. Melhores resultados são encontrados com os processos de adsorção em carvão ativado, contudo a adsorção de corantes de caráter catiônico é limitada devido à superfície química do carvão normalmente ser positiva (KUNZ, 2002).

3.3.3 Métodos Biológicos

Método de tratamento nos qual a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica (VON SPERLING, 2005). Muitos microrganismos como bactérias, algas e fungos são capazes de acumular e degradar diferentes poluentes. Desta forma, alguns métodos de biodegradação, tais como descolorização por fungos, algas e bactérias, degradação microbiológica, adsorção por biomassa microbiológica e sistemas de biorremediação, são frequentemente aplicados para tratamento de efluentes industriais (IMMICH, 2006).

Os lodos ativados são um dos tratamentos convencionais mais usados pela indústria têxtil no tratamento de efluentes. Entretanto, a desvantagem deste tratamento encontra-se no fato de se gerarem lodos que necessitam também de ser tratadas (FERNANDES *et al*, 2010).

3.4 Processo de adsorção

A adsorção é um processo físico-químico muito utilizado tanto para remoção de corantes em efluentes quanto para o tratamento de águas, que consiste em tratar o fluido com um material sólido poroso, podendo este ser um pó ou qualquer material granular orgânico ou inorgânico, através de um sistema batelada ou em leito fixo (KHATRI *et al.*, 2015).

Vários adsorventes têm sido desenvolvidos para essa aplicação, como a turfa, alumina, sepiolita, zeólita, espuma de poliuretano, derivados de celulose e membranas de casca de ovo. O carvão ativado é o adsorvente mais eficaz, entretanto, seu alto custo impede a ampla utilização para o tratamento de efluentes em grande escala (DEBRASSI, 2011).

É das técnicas físico-químicas de custos relativamente moderadas em relação as novas técnicas pesquisadas, tendo como vantagem a demanda de pequenas áreas de instalação, menor tempo de processamento, possui uma boa taxa de remoção de corantes tanto de soluções diluídas quanto de concentradas e simples de operar (MATOS *et al.*, 2013).

3.4.1 Adsorção física e química

A adsorção é o processo de transferência de um ou mais constituintes de uma fase fluida para a superfície de uma fase sólida, onde o material inicial a ser adsorvido é o adsorbato e o material sólido onde ocorre a adsorção é chamado de adsorvente (BARROS; ARROYO, 2004). Caracteriza-se por ser um método simples que vem sendo bastante estudado para o tratamento de efluentes industriais. No processo de adsorção de corantes as moléculas presentes na fase fluida são atraídas para a zona interfacial devido à existência de forças atrativas não compensadas na superfície do adsorvente (BARROS; ARROYO, 2004).

Três etapas estão envolvidas nesse processo: primeiro o corante migra através da solução para a superfície exterior das partículas do adsorvente, depois o corante move-se dentro dos poros das partículas e, então ele é adsorvido nos sítios no interior da superfície das partículas do adsorvente (CARVALHO, 2010).

Dentre as forças envolvidas na adsorção física incluem as Forças de Van der Waals e interações eletrostáticas. Entretanto, as interações de Van der Waals estão sempre presentes no processo diferentemente das contribuições eletrostáticas que só são significativas no caso de adsorventes que possuem estrutura iônica (BARROS; ARROYO, 2004).

A adsorção pode ocorrer tanto por mecanismos físicos, adsorção física ou fisissorção, quanto por mecanismos químicos, adsorção química ou quimissorção, sendo que elas podem ocorrer separadamente ou em alguns casos de maneira simultânea (VALENCIA, 2007).

A adsorção física ocorre quando forças de atração das moléculas do fluido são menores que as forças de atração entre as moléculas do fluido e a superfície do sólido (FERNANDES, 2008). Portanto, moléculas do fluido aderem-se à superfície do sólido estabelecendo o equilíbrio entre o fluido adsorvido e o restante que permaneceu na fase líquida (FERNANDES, 2008). Esse tipo de adsorção é um fenômeno reversível, exotérmico que ocorre por forças de atração fracas, porém de longo alcance entre das moléculas do fluido adsorbato e as moléculas do adsorvente (VALENCIA, 2007).

A adsorção química ou quimissorção é o resultado da interação química entre o sólido e a substância adsorvida (IMMICH, 2006). Esse processo acontece, devido a transferência de elétrons, equivalente à formação de ligações químicas entre o adsorbato e a superfície do sólido. Esse tipo de adsorção é frequentemente irreversível (FERNANDES, 2008). Em relação ao calor de adsorção é correto afirmar que é da mesma ordem de grandeza dos calores de reação. Portanto, na adsorção física podem formar-se camadas moleculares sobrepostas, enquanto que na adsorção química se forma uma única camada molecular adsorvida (FERNANDES, 2008).

3.4.2 Biossorção

A complexidade, a dificuldade e o alto custo envolvido no tratamento de efluentes têxteis têm levado as indústrias a buscar métodos alternativos de tratamento. Atualmente, diversas pesquisas são desenvolvidas em torno de técnicas que lançam mão do uso de materiais mais econômicos e eficientes na remoção dos contaminantes, sendo que, em relação as pesquisas de adsorção, existe uma procura por adsorventes de baixo custo (PEIXOTO *et al.*, 2013). Assim, tem crescido o interesse por resíduos industriais ou da agricultura, além de biomassas microbianas, como bactérias, fungos e algas (PEIXOTO *et al.*, 2013).

A biossorção é o processo de remoção de contaminantes via processos físico-químicos, como troca-iônica, complexação, quelação, microprecipitação, entre outros, por materiais inativos biologicamente (VIJAYARAGHAVAN; YUN, 2008). O mecanismo de ligação depende do tipo da biomassa, da natureza química do poluente e das condições ambientais, como pH e temperatura. No entanto, embora a biossorção seja uma técnica com potencial de remoção de poluentes em escala laboratorial, sua eficiência a nível industrial ainda é um desafio a ser estudado (VIJAYARAGHAVAN; YUN, 2008).

O aproveitamento de resíduos agroindustriais vem se tornando cada vez mais necessário em função dos prejuízos ambientais causados pelo descarte inadequado desses materiais na natureza. Por isso, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de aproveitar esses subprodutos para diferentes finalidades, como, por exemplo, para remoção de corantes em efluentes têxteis (TASHIMA *et al.*, 2012).

Diferentes biomassas têm sido investigadas e utilizadas na remoção de corantes têxteis, como: casca de arroz (SAFA; BHATTI, 2011); bagaço de cana-de-açúcar (DOS SANTOS *et al.*, 2010); casca de cupuaçu (CARDOSO *et al.*, 2011); talo de açaí (CARDOSO *et al.*, 2011); fungo *Aspergillus parasiticus* (AKAR *et al.*, 2009); casca de café (AHMAD; RAHMAN, 2011); casca da semente de girassol (OGUNTIMEIN, 2015); algas verdes (KHATAEE *et al.*, 2013) e bagaço de laranja (FERRARI, 2009), quitosana (DOTTO; PINTO, 2011).

Dentre os vários biopolímeros encontrados, dois se destacam pela quantidade produzida anualmente. A celulose, polímero de sustentação dos vegetais, e a quitina, polímero de sustentação dos animais. Ambos são polissacarídeos, ou seja, carboidratos formados pela união de monossacarídeos, que no caso da celulose é a molécula de glicose e no caso da quitina a molécula de acetilglicosamina (CATÃO, 2011).

3.5 Quitina e Quitosana

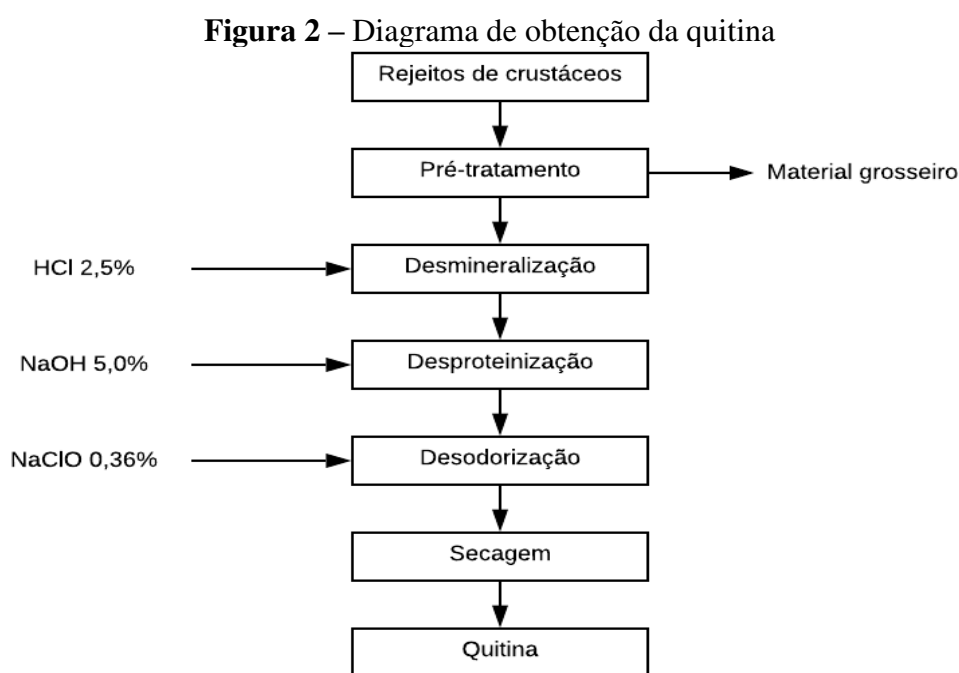
3.5.1 Origem, composição e obtenção

A atividade pesqueira, a qual engloba tanto a captura quanto aquicultura, está entre as práticas industriais que produzem um grande volume de resíduos de significativo potencial poluidor, sendo amplamente praticadas no Brasil e ao redor do mundo. (OLSEN *et al.*, 2014) De acordo com estatísticas disponibilizadas pela FAOSTAT (Food and Agriculture Organization – Statistic) referente ao ano de 2017, a produção da atividade de pesca, tanto ao nível mundial quanto ao nível brasileiro foi cerca de 205,5 milhões de toneladas e 1,3 milhões de toneladas, respectivamente.

Entre 20 e 30% do peso vivo das espécies de crustáceos são utilizados para alimentação humana e comercial, deixando aproximadamente 70 a 80% considerados contaminantes que são constituídos por vísceras e exoesqueletos, especialmente cascas de caranguejo. Estes resíduos não possuem valor comercial, mas podem ser utilizados para obter dois biopolímeros, quitina e quitosana, que possuem alto valor agregado (PESANTEZ, 2017).

Depois do amido, a quitina e quitosana são a segunda maior oferta de biopolímeros naturais encontrados, devido à atividade industrial de processamento de produtos do mar, especialmente crustáceos, que gera uma grande quantidade de resíduos acarretando um problema ambiental, como resultado de sua lenta decomposição, uma vez que estes resíduos contêm entre 14 e 35% de quitina, associados a 30-40% de proteína e 30 a 40% de depósitos de cálcio (PESANTEZ, 2017).

A quitina ou poli (β - (1 \rightarrow 4) -N-acetil-D-glucosamina) é um polissacarídeo natural de grande importância, identificado pela primeira vez em 1884. Este biopolímero é sintetizado por um número enorme de organismos vivos e pertence aos polímeros naturais mais abundantes. No estado nativo, a quitina ocorre como microfibrilas cristalinas ordenadas que formam componentes estruturais no exoesqueleto de artrópodes ou nas paredes celulares de fungos e leveduras (YOUNES, 2015). A Figura 2 expõe o fluxograma do processo de obtenção da quitina a partir de rejeitos de crustáceos:

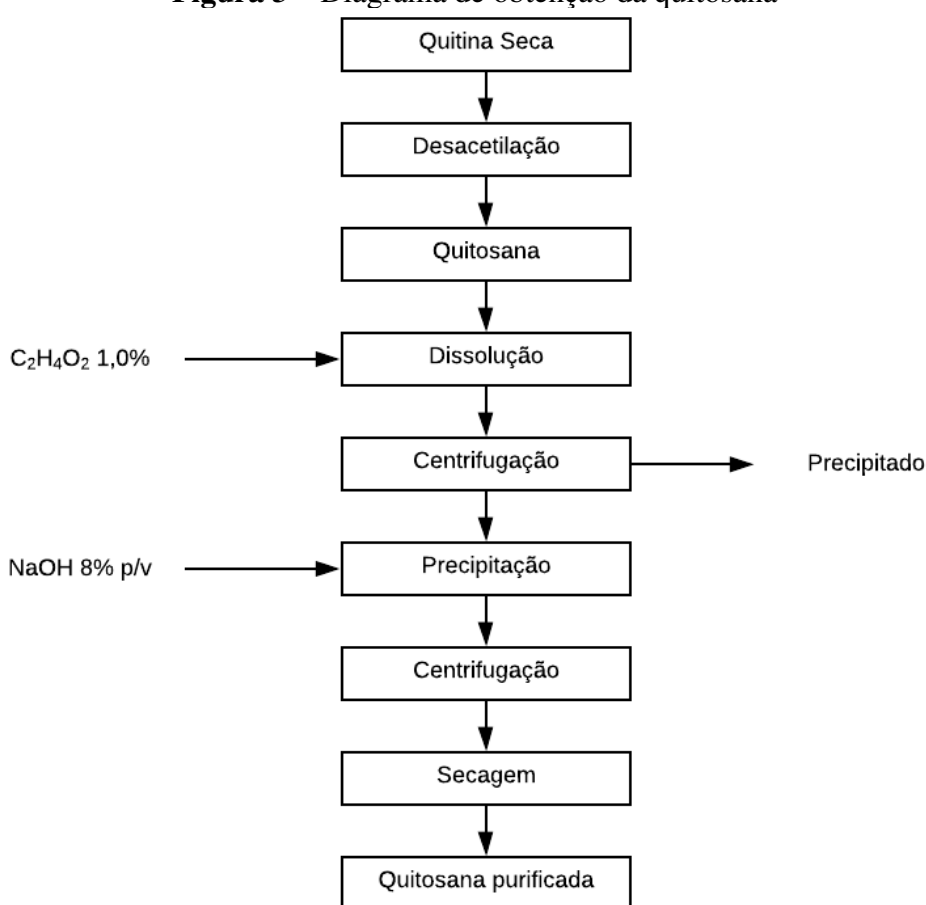


Fonte: Moura (2008).

A quitina tem mais aplicações enquanto se transforma em quitosana (por desacetilação parcial sob condições alcalinas). A quitosana é um copolímero aleatório com uma fração molar GD (grau de desacetilação) de β - (1 \rightarrow 4) -N-acetil-D-glucosamina e uma fração (1-GD) de β - (1 \rightarrow 4) -D-glucosamina. O grau de desacetilação da quitosana é caracterizado pela fração molar das unidades N-desacetiladas (GD) ou como porcentagem de desacetilação (GD%) (YOUNES, 2015).

A quitosana é o composto obtido a partir da desacetilação parcial da quitina, deixando o grupo amino do carbono-2 livre. É praticamente obtido em sua totalidade pelo método de eliminação do grupo acetila que contém a função quitina. A quitosana é solúvel em água, mas sua solubilidade depende do grau de desacetilação presente. Essa propriedade facilita o trabalho com a quitosana, mais do que com a quitina, sendo amplamente utilizado em diferentes campos, como farmacêutico, médico, alimentício, agrícola e etc. (GALINDO, 2018). Na Figura 3, é apresentada o fluxograma do processo de obtenção da quitosana:

Figura 3 – Diagrama de obtenção da quitosana



Fonte: Moura (2008).

3.5.2 Aplicações da quitosana

A quitosana vem sendo estudada com sucesso em uma grande variedade de aplicações por ser biocompatível, biodegradável (TANADA *et al.*, 2005) e apresenta propriedade antimicrobiana (BERGER *et al.*, 2004), emulsificante (JAAFARI *et al.*, 2001), quelante de metais (KHOR; LIM, 2003), usada no tratamento de efluentes e por formar gel (ASSIS; LEONI, 2003). Em razão da quitosana formar facilmente filmes e membranas em soluções ácidas

diluídas, várias aplicações estão sendo sugeridas, dentre elas a formação de um filme semipermeável ou gelatinosos, que pode ser utilizado como envoltório protetor de alimentos (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2010).

Várias outras aplicações da quitosana vêm sendo estudadas, incluindo cromatografia, quelação de metais, aditivos químicos para as indústrias têxteis, alimentícia, papel, vernizes e revestimentos, membranas seletivas adesivas (BERGER *et al.*, 2004). A quitosana desperta muito interesse para aplicações médicas e farmacêuticas, por sua propriedade intrínseca, a biocompatibilidade com células humanas, permite seu uso em várias aplicações médicas, como membranas, bactericidas, transportadores farmacológicos, anticoagulantes, meios microbiológicos, entre outros (BERGER *et al.*, 2004). Além disso, a quitosana é metabolizada por certas enzimas humanas, especialmente a lisozima, o que lhe confere a característica de ser considerada biodegradável (BERGER *et al.*, 2004).

3.5.3 A Quitosana e a adsorção de Corantes

Entre os biopolímeros aplicados no processo de adsorção a quitosana se destaca por diversos aspectos, entre eles, apresentar uma cinética de adsorção bastante rápida, possui alta eficiência de descoloração e ainda ser de adsorver também alguns metais pesados (HABIBA *et al.*, 2017).

Considerada uma matéria-prima de baixo custo e renovável, a quitosana tem utilização satisfatória em relação ao custo benefício; o montante de adsorvente utilizado é reduzido em relação a adsorventes convencionais, uma vez que é mais eficiente; possui alta capacidade de adsorção tanto em soluções diluídas como concentradas (HABIBA *et al.*, 2017). Pode ser utilizada de diversas formas, como por exemplo, filmes, membranas, nanopartículas, fibras, esponjas, géis, esferas ou apoiados em suportes inertes (DOTTO, PINTO, 2011).

A presença das unidades amino e acetamida na cadeia polimérica contribui para a heterogeneidade do polímero (ROSA, 2009). Os grupos amino são fortemente reativos devido à presença dos pares eletrônicos livres no átomo de nitrogênio. Contudo, os grupos amino são facilmente protonados em solução ácida (ROSA, 2009). Por esta razão, a protonação destes grupos pode proporcionar uma atração eletrostática de compostos aniônicos, incluindo ânions metálicos ou corantes aniônicos (ROSA, 2009).

Uma característica singular da quitosana, dentre todos os biopolímeros naturais, é o maior caráter catiônico, uma vez que a maioria dos polissacarídeos animais ou vegetais

apresenta caráter neutro (celulose, dextrana, amido) ou aniônico (alginato, carragenina, xantana) (RINAUDO, 2006).

A quitosana se destaca por ser um biopolímero com alto caráter catiônico, elevado peso molecular, e que pode ser utilizada tanto na etapa de coagulação (agregação de partículas induzida por adição de eletrólito) e na etapa de floculação (agregação resultante da ligação várias partículas por uma cadeia de polímeros), além de ter a vantagem de ser biodegradável e não ser tóxica (NG *et al.*, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Procedimento experimental

4.1.1 Corantes Têxteis

Os corantes têxteis utilizados na realização dos experimentos de preparação das soluções são de uma Indústria de Corantes nacional, e foram escolhidos nas colorações amarela 03, verde 20 e azul marinho 16. Esses foram selecionados em virtude de serem utilizados no tingimento de algodão, linho, rami, sisal, juta e viscose, e foram adquiridos no comércio da cidade de Cajazeiras – PB. De acordo com as Fichas de Informação de Segurança de Produto Químico de cada corante, é informado que esses corantes são do tipo direto, entretanto, não tem informação sobre a composição química dos respectivos corantes, na qual se atribui que as suas formulações sejam segredo industrial.

4.1.2 Preparação das soluções padrões dos Corantes

Como os corantes são utilizados na indústria de tingimento em forma de solução, decidiu-se no planejamento experimental desta pesquisa, preparar cinco (05) soluções de concentrações diferentes para cada corante e que foram preparadas apenas diluindo-se em água retirada da torneira. As soluções padrões para cada corante são apresentadas na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Faixa de concentrações (mg.L^{-1}) das soluções padrão dos corantes

Solução padrão do corante	Concentração (mg.L^{-1})
Solução padrão do corante amarelo 03	
Solução padrão do corante verde 20	200; 400; 600; 800 e 1000
Solução padrão do corante azul marinho 16	

Fonte: Autoria própria (2019).

4.1.3 Medidas da absorbância das soluções padrões dos Corantes

As soluções dos corantes foram analisadas no espectrofotômetro UV-Visível (Biospectro modelo SP-22) para determinação dos comprimentos de onda de máxima absorção ($A_{\text{máx}}$) e bem como para a construção da curva de calibração (SKOOG, 2006) necessária para a

avaliação da taxa de descoloração dos corantes, após o tratamento de filtração dessas amostras. Na Tabela 3 é apresentada o comprimento de onda (λ) de máxima absorvância para as soluções dos diferentes corantes.

Tabela 3 – Comprimentos de onda para cada corante para medição da absorvância

Solução padrão	Comprimento de onda de máxima absorvância
Corante amarelo 03	410nm
Corante verde 20	625nm
Corante azul marinho 16	560nm

Fonte: Autoria própria (2019).

Em seguida foram medidas as absorvâncias de cada corante nas soluções padrões (200, 400, 600, 800 e 1000mg.L⁻¹) no espectrofotômetro UV-Visível (Biospectro modelo SP-22) para a construção da curva de calibração obtida pela análise de regressão linear para cada analito (Tabela 4).

Tabela 4 – Equação da reta e coeficiente de correlação (R^2) obtidos para as curvas de calibração das soluções padrões dos corantes

Solução padrão	Concentração (mg.L ⁻¹)	Curva analítica	Coefficiente de correlação (R^2)
Corante amarelo 03	200-1000	$Y = 0,0003X - 0,021$	0,9961
Corante verde 20	200-1000	$Y = 0,0005X - 0,0036$	0,9978
Corante azul marinho 16	200-1000	$Y = 0,0009X - 0,02$	0,9993

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 Sistema de filtração

4.2.1 Análise granulométrica do material do filtro

Os materiais do sistema de filtração foram constituídos com solo e para tanto foi necessário realizar a determinação da granulométrica da amostra deste material e que foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Cajazeiras.

A composição granulométrica dos materiais suporte foi realizada segundo procedimentos descritos pela NBR 7181/1984: Pesou-se 500 g de cada material constituinte do filtro (Figura 4),

que foram secos em estufa a 105-110 °C por aproximadamente 3 horas. Após a secagem, as massas dos materiais suporte foram resfriadas em dessecador até atingirem a temperatura ambiente.

Figura 4 – Materiais do sistema filtrante



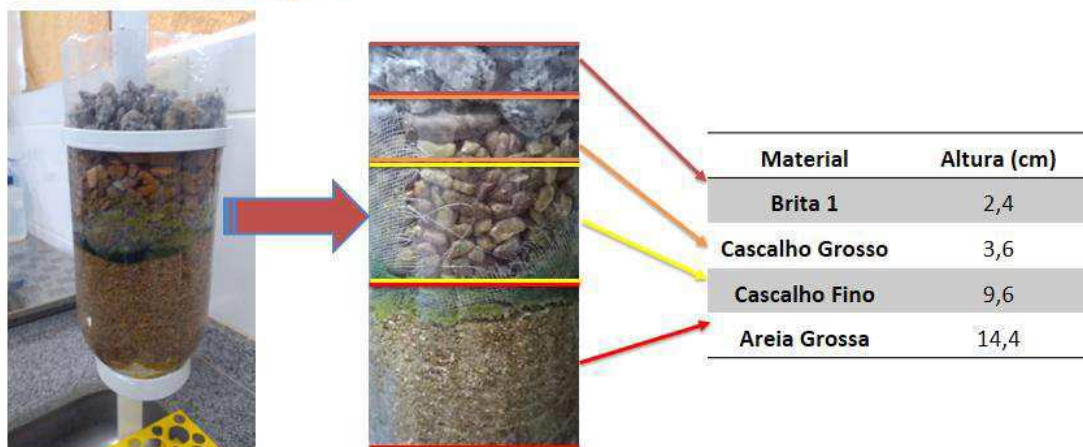
Fonte: Aatoria própria (2019).

Após o resfriamento, as massas foram peneiradas em peneiras da série normal, previamente limpas, em ordem crescente de aberturas da base para o topo, sendo que o fundo é encaixado em sua base. A massa retida em cada uma das aberturas das peneiras foi registrada e foram realizados os cálculos de porcentagem retida, porcentagem retida acumulada e módulo de finura para possibilitar o traçado da curva granulométrica (NBR 7181/1984).

De cada material duas amostras M_1 e M_2 foram separadas, a fim de fazer uma análise em duplicata, os materiais foram organizados em quatro grupos recebendo suas respectivas classificações após a análise granulométrica.

4.2.2 Montagem do sistema de filtração

O filtro utilizado foi montado a partir do aproveitamento de uma garrafa PET de 2 Litros (Figura 5). O fluxo do efluente no filtro operava em direção descendente, tendo como material filtrante camadas de areia, cascalho fino, cascalho grosso e brita. As camadas dos agregados apresentam uma altura total de 30 cm da base do filtro até a parte superior, e 12cm de diâmetro. Na parte superior e inferior dos substratos, foram alocadas telas de nylon evitando o vazamento do agregado bem como a mistura entre os agregados de granulação menor.

Figura 5 – Fotografia do filtro**Sistema de filtração:**

Fonte: Autoria própria (2019).

4.3 Tratamento de adsorção das soluções padrões dos Corantes com quitosana

Para avaliar o processo de adsorção dos corantes pela quitosana, foi utilizada uma quitosana comercial (Polymar Indústria e Com. Imp. Exp. Ltda., Ceará, Brasil-Lote: 01012017) com 85% grau desacetilação e de massa molecular média de $33,61 \times 10^4 \text{ g.mol}^{-1}$. Foram utilizados três (03) tratamentos em que foram modificados em função da concentração do corante, teor de quitosana e tempo de agitação (Tabela 5). Esses experimentos foram realizados em triplicata.

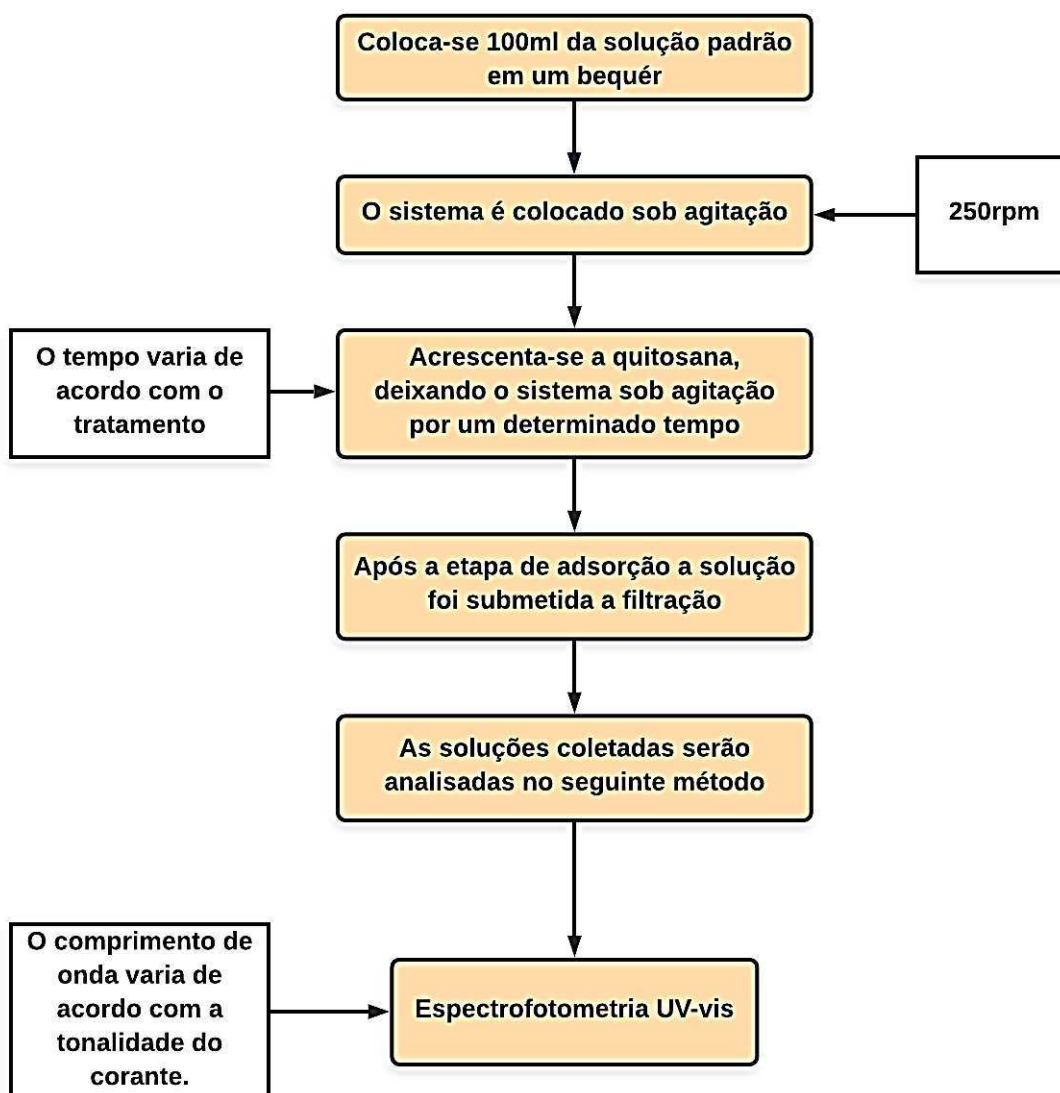
Tabela 5 – Tratamento de adsorção das soluções padrões dos corantes com quitosana

Tratamentos	Parâmetros de concentração (mg.L^{-1})		Tempo de agitação (min.)
	Corante	Quitosana	
Tratamento 1	200	200 a 1000	10
Tratamento 2	200 a 1000	200	10
Tratamento 3	200	600	2, 4, 6, 8, 10 e 15

Fonte: Autoria própria (2019).

Após os tratamentos as amostras das soluções dos corantes foram submetidas as análises espectrofotométrica. Esse procedimento é resumidamente descrito na Figura 6 a seguir.

Figura 6 – Diagrama de procedimentos experimentais



Fonte: Autoria própria (2019).

4.4 Determinação da absorvância e quantificação da descoloração

As absorvâncias das soluções padrões dos corantes, após serem submetidas aos Tratamentos 01, 02 e 03 foram passadas pelo filtro desenvolvido, e seguida das medidas da absorvância no espectrofotômetro UV/Vis (Ultravioleta/ Visível) da marca Biospectro modelo SP-22, para quantificação de seus teores a partir dos dados das curvas de calibrações.

Foram realizadas em triplicata, 180 medições, das absorvâncias das amostras de cada uma das soluções com os três diferentes corantes (Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16), nos respectivos comprimentos de onda previamente determinados (410 nm, 625 nm e 560 nm),

respectivamente. Além disso, também foram realizadas medições nas soluções padrões antes do processo de tratamento com a quitosana, o que gerou mais 45 medições espectrofotométricas, também em triplicata, totalizando 225 medidas de absorvância.

O método utilizado para avaliação da remoção de cor em águas residuárias foi o descrito pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater in the American Public Health Association* (1992). A Equação (1) refere-se a porcentagem de descoloração (FREIRE, 2010):

$$\text{Descoloração} = \frac{A_{\text{amostra bruta}} - A_{\text{filtrado}}}{A_{\text{amostra bruta}}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$A_{\text{amostra bruta}}$: Absorvância da solução do corante antes de ser filtrada;

A_{filtrado} : Absorvância da solução do corante da amostra após ser filtrada.

4.5 Análises estatísticas

Realizou-se tratamentos estatísticos de todos os resultados obtidos afim de verificar os padrões de Normalidade (Shapiro-Wilk) e Homocedasticidade (Levene) para seleção de método paramétrico (ANOVA/Tukey's) ou não-paramétrico (Kruskal-Wallis/Mann-Whitney), bem como avaliou se há ou não diferenças significativas entre os três tratamentos estudados. Essas análises foram realizadas no *software* gratuito Past3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise granulométrica do material do filtro e da quitosana

Na Tabela 6 é apresentada os dados de caracterização do Material 1 tendo como base a normativa NRB 7211.

Esse material é um agregado graúdo, pelo fato de ter a maior parte da sua massa foi retida na peneira ABNT n° 3/8'' (9,5mm), e desta forma é classificado na categoria de Brita 1, pois a porcentagem acumulada foi maior na faixa de 4,8 a 12,5mm.

Tabela 6 – Análise granulométrica do Material 1

AGREGADO 1	Graúdo	Massa Total (g) 500,0				Variação da Massa Retida (%)	Média das Massas Retidas (%)	Massa Retida Acumulada (%)	Fração retida	Fração passante	% Passante
		Massa Retida (g)		Massa Retida (%)							
Peneira n°	Abertura (mm)	1ª Det.	2ª Det.	1ª Det.	2ª Det.						
3''	75	0,0	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-	1,0000	100,00%
2''	50	0,0	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-	1,0000	100,00%
1 1/2''	38	0,0	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-	1,0000	100,00%
1''	25	0,0	0,0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-	1,0000	100,00%
3/4''	19	49,3	25,3	9,86%	5,06%	4,80%	7,46%	7,46%	0,0746	0,9254	92,54%
3/8''	9,5	430,1	444,8	86,02%	88,96%	2,94%	87,49%	94,95%	0,8749	0,0505	5,05%
n° 4	4,8	16,2	24,5	3,24%	4,90%	1,66%	4,07%	99,02%	0,0407	0,0098	0,98%
n° 8	2,4	0,4	0,4	0,08%	0,08%	0,00%	0,08%	99,10%	0,0008	0,0090	0,90%
Prato	Fundo	4,0	5,0	0,80%	1,00%	0,20%	0,90%	100,00%	0,0090	-	0,00%
	Σ Massas (g)	500,0	500,0				Módulo de Finura	3,01	Diâmetro Máximo		25

Fonte: Autoria própria (2019).

Quanto ao Material 2, foi possível determinar que o referido material se classifica como cascalho fino, pois a maior parte da sua massa foi retida na peneira n° 4 (4,8mm) da ABNT (NRB 7211), conforme dados da Tabela 7.

Tabela 7 – Análise granulométrica do Material 2

AGREGADO 2	Graúdo Abertura (mm)	Massa Total (g) 500,0				Variação da Massa Retida (%)	Média das Massas Retidas (%)	Massa Retida Acumulada (%)	Fração retida	Fração passante	% Passante
		Massa Retida (g)		Massa Retida (%)							
		1ª Det.	2ª Det.	1ª Det.	2ª Det.						
3"	75	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
2"	50	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
1 1/2"	38	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
1"	25	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
3/4"	19	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
3/8"	9,5	71,7	103,6	14,34%	20,72%	6,38%	17,53%	17,53%	0,1753	0,8247	82,47%
nº 4	4,8	401,4	371,9	80,28%	74,38%	5,90%	77,33%	94,86%	0,7733	0,0514	5,14%
nº 8	2,4	26,3	22	5,26%	4,40%	0,86%	4,83%	99,69%	0,0483	0,0031	0,31%
Prato	Fundo	0,6	2,5	0,12%	0,50%	0,38%	0,31%	100,00%	0,0031	0	0,00%
	Σ Massas (g)	500	500	Módulo de Finura				2,12	Diâmetro Máximo		19

Fonte: Autoria própria (2019).

O Material 3 foi classificado como cascalhos grossos, pelo fato de que a maioria das partículas desse material apresentam um diâmetro superior a 19mm (NRB 7211), conforme informações contidas na Tabela 8.

Tabela 8 – Análise granulométrica do Material 3

AGREGADO 3	Graúdo Abertura (mm)	Massa Total (g) 500,8				Variação da Massa Retida (%)	Média das Massas Retidas (%)	Massa Retida Acumulada (%)	Fração retida	Fração passante	% Passante
		Massa Retida (g)		Massa Retida (%)							
		1ª Det.	2ª Det.	1ª Det.	2ª Det.						
3"	75	0	0	0,0%	0,0%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
2"	50	0	0	0,0%	0,0%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
1 1/2"	38	0	0	0,0%	0,0%	0,00%	0,00%	0	1	100,00%	
1"	25	288,6	353,2	57,6%	70,5%	12,90%	64,08%	64,08%	0,6408	0,3592	35,92%
3/4"	19	187,1	121,6	37,4%	24,3%	13,08%	30,82%	94,90%	0,3082	0,0510	5,10%
3/8"	9,5	25,1	26	5,0%	5,2%	0,18%	5,10%	100,00%	0,0510	0	0,00%
nº 4	4,8	0	0	0,0%	0,0%	0,00%	0,00%	100,00%	0	0	0,00%
nº 8	2,4	0	0	0,0%	0,0%	0,00%	0,00%	100,00%	0	0	0,00%
Prato	Fundo	0	0	0,0%	0,0%	0,00%	0,00%	100,00%	0	0	0,00%
	Σ Massas (g)	500,8	500,8	Módulo de Finura				3,95	Diâmetro Máximo		38

Fonte: Autoria própria (2019).

Verificando os resultados obtidos na caracterização do Material 4, presentes na Tabela 9, se atribui que esse material está na categoria da areia grossa (NRB 7211,) pois as maiores quantidades de massa retida são encontradas na peneira nº 16 (1,2mm).

Tabela 9 – Análise granulométrica do Material 4

AGREGADO 4	Miúdo	Massa Total (g) 500,5				Variação da Massa Retida (%)	Média das Massas Retidas (%)	Massa Retida Acumulada (%)	Fração retida	Fração passante	% Passante
		Massa Retida (g)		Massa Retida (%)							
		1ª Det.	2ª Det.	1ª Det.	2ª Det.						
Peneira nº	Abertura (mm)										
3/8"	9,5	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-	1,0000	100,00%
1/4"	6,3	0	0,4	0,00%	0,08%	0,08%	0,04%	0,04%	0,0004	0,9996	99,96%
4"	4,8	1,8	0,8	0,36%	0,16%	0,20%	0,26%	0,30%	0,0026	0,9970	99,70%
8"	2,4	54,3	53,4	10,85%	10,67%	0,18%	10,76%	11,06%	0,1076	0,8894	88,94%
16"	1,2	402,9	407,9	80,50%	81,50%	1,00%	81,00%	92,06%	0,8100	0,0794	7,94%
30"	0,6	32,5	29,9	6,49%	5,97%	0,52%	6,23%	98,29%	0,0623	0,0171	1,71%
50"	0,3	1,5	1,3	0,30%	0,26%	0,04%	0,28%	98,57%	0,0028	0,0143	1,43%
100"	0,15	2,7	2,4	0,54%	0,48%	0,06%	0,51%	99,08%	0,0051	0,0092	0,92%
Prato	Fundo	4,8	4,4	0,96%	0,88%	0,08%	0,92%	100,00%	0,0092	0	0,00%
	Σ Massas (g)	500,5	500,5	Módulo de Finura				3,99	Diâmetro Máximo		6,3

Fonte: Autoria própria (2019).

Com base nos dados das Tabelas 6, 7, 8 e 9, anteriormente citadas, se determinou que o material do filtro pode ser caracterizado pelos presentes na Tabela 10.

Tabela 10 – Composição do filtro e proporção em altura

Material	Classificação	Altura (cm)
Agregado 1	Brita 1	2,4
Agregado 2	Cascalho Fino	9,6
Agregado 3	Cascalho Grosso	3,6
Agregado 4	Areia Grossa	14,4

Fonte: Autoria própria (2019).

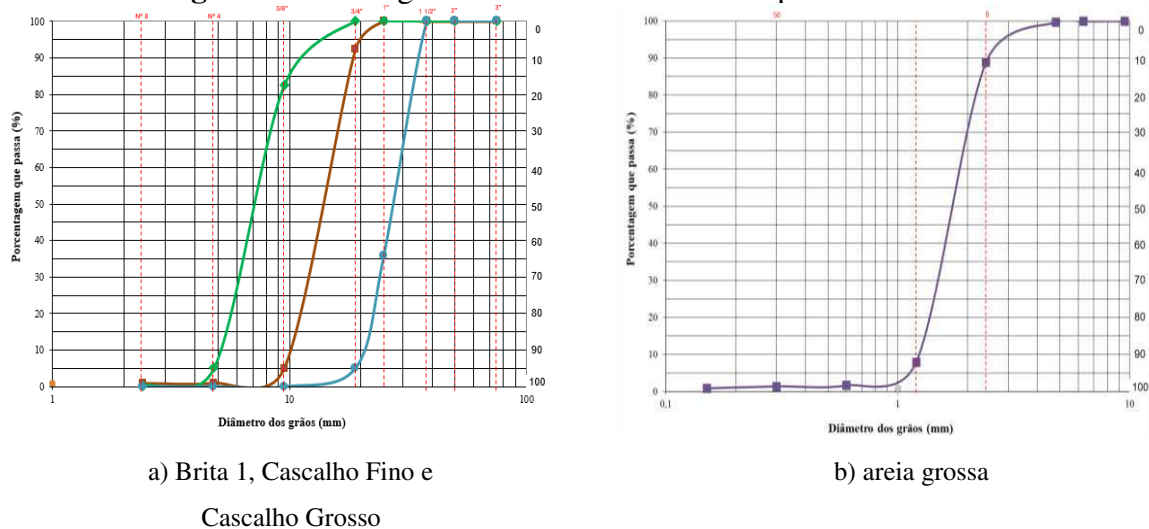
Ao realizar a análise granulométrica da quitosana, observou-se essa possui uma característica uniforme na granulometria, pois apresentou 87,73% de massa retida na peneira número 100'' (0,15mm), conforme mostrado na Tabela 11, a seguir:

Tabela 11 – Análise granulométrica da quitosana

AGREGADO 4	Miúdo Abertura (mm)	Massa Total (g)		Variação da Massa Retida (%)	Média das Massas Retidas (%)	Massa Retida Acumulada (%)	Fração retida	Fração passante	% Passante
		500,5							
		Massa Retida (g)	Massa Retida (%)						
Peneira nº	1ª Det.	2ª Det.	1ª Det.	2ª Det.					
3/8"	9,5	0	0,00%			0,00%	0	1	100,00%
1/4"	6,3	0	0,00%			0,00%	0	1	100,00%
4"	4,8	0	0,00%			0,00%	0	1	100,00%
8"	2,4	0,1	0,03%			0,03%	0,0003	0,99	99,97%
16"	1,2	0,3	0,10%			0,13%	0,001	0,99	99,87%
30"	0,6	9,3	3,10%			3,23%	0,031	0,96	96,77%
50"	0,3	177,4	59,13%			62,37%	0,59	0,37	37,63%
100"	0,15	76,1	25,37%			87,73%	0,25	0,12	12,27%
Prato	Fundo	36,8	12,27%			100,00%	0,1227	0	0,00%
	Σ Massas (g)	300			Módulo de Finura	2,54		Diâmetro Máximo	0,6

Fonte: Autoria própria (2019).

Ao se analisar a curva granulométrica da areia grossa, Figura 7b, se verifica que o diâmetro efetivo médio deste material é de cerca de 1200 µm. Desta forma se atribui que o sistema filtrante desenvolvido teve a capacidade de reter partículas da quitosana, com os corantes adsorvidos, na sua estrutura. Essa atribuição se baseia no trabalho produzido por Pizarro e Cabelo (1996), que aborda que as partículas ficam retidas no filtro quando seus diâmetros são superiores ao intervalo de 1/10 a 1/12 do diâmetro efetivo da camada filtrante.

Figura 7 – Curva granulométrica dos materiais presentes no filtro

Fonte: Autoria própria (2019).

No filtro, foram realizados experimentos com as soluções dos corantes, antes do tratamento com a quitosana, a fim de avaliar o processo de filtração. Nestes testes evidenciou-se que o filtro não tem a capacidade de retenção dos corantes têxteis nas soluções dos corantes.

5.2 Avaliação da retenção dos corantes Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 na concentração de 200mg.L⁻¹ pelo tratamento com variadas concentrações de quitosana seguida da filtração

Os corantes têxteis Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 classificam-se como corantes diretos e apresentam propriedades aniônicas. Desta forma há uma forte interação desses corantes com a quitosana, por ser um biopolímero com alto caráter catiônico ((RINAUDO, 2006). Devido a essas interações, as partículas dos corantes sofrem o processo de adsorção na superfície da quitosana, fazendo com que as mesmas se separem da solução de tal forma que estes podem ser retirados da solução e bem como serem retidas no processo de filtração.

Os valores médios e do desvio padrão da descoloração das soluções dos corantes bem como a análise estatística dos dados para variação significativa pelos Testes ANOVA e Tukey estão contidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Eficiência da descoloração com 200mg.L⁻¹ de corante com agitação por 10 minutos variando a quitosana de 200 a 1000mg.L⁻¹

[]* Quitosana (mg)	Média de descoloração (%) ± Desvio Padrão		
	Amarelo 03	Verde 20	Azul marinho 16
200	91,67 ± 2,08 (a)	83,86 ± 1,61 (b)	93,18 ± 0,57 (ab)
400	91,67 ± 2,08 (a)	85,26 ± 2,11 (b)	93,37 ± 0,87 (ab)
600	95,83 ± 2,08 (a)	95,79 ± 1,05 (a)	93,75 ± 0,57 (a)
800	93,06 ± 3,18 (a)	83,86 ± 2,65 (b)	89,96 ± 0,87 (c)
1000	93,75 ± 2,08 (a)	83,16 ± 2,11 (b)	91,10 ± 1,43 (bc)

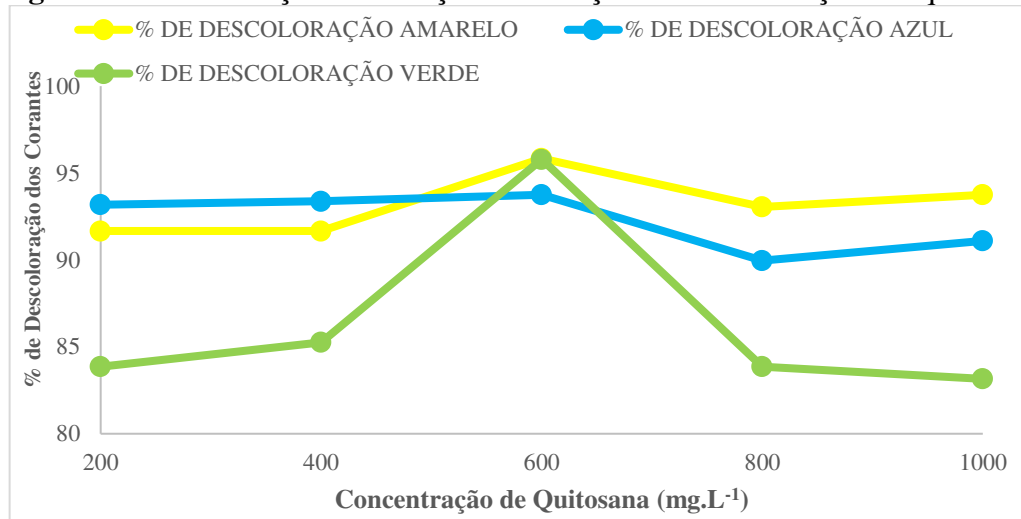
* [] = Concentração; Letras minúsculas iguais, na coluna, (Teste de Tukey) não apresentaram diferença significativa entre as médias (p<0,05).

Fonte: Autoria própria (2019).

Na Figura 8 é apresentado o gráfico para melhor interpretação dos dados experimentais apresentados na Tabela 12. De modo geral, se observa que houve redução significativa da descoloração das soluções coloridas após o tratamento com cinco diferentes concentrações de quitosana, embora que o tratamento com quitosana de 600 mg.L⁻¹ foi o que apresentou maior

índice de descoloração de 93,75% a 95, 82%, indicando que nesta situação a proporção mais efetiva entre os corantes e a quitosana é na ordem de 1:3, respectivamente.

Figura 8 – Descoloração das soluções em função das concentrações de quitosana



Fonte: Autoria própria (2019).

5.3 Avaliação da Retenção dos corantes Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 nas concentrações de 200 a 1000mg.L⁻¹ pelo tratamento com 200mg.L⁻¹ de quitosana seguida da filtração

Considerando a natureza aniônica dos corantes diretos, pode-se estimar que a adsorção dos referidos corantes é atribuída, principalmente, às interações iônicas entre os grupos aniônicos dos corantes com os grupos catiônicos ($-NH_3^+$) da quitosana. Sendo assim as interações entre adsorvente e adsorbato tem natureza eletrostática, ao mesmo tempo em que se identifica o processo de adsorção como uma adsorção química (FERNANDES, 2008). Tais fatores se justificam pela agregação dos corantes a superfície da quitosana permitindo que estes sejam retidos no filtro.

Os valores médios e do desvio padrão da descoloração das soluções dos corantes bem como a análise estatística dos dados para variação significativa pelos Testes ANOVA e Tukey estão contidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Eficiência da descoloração variando o corante de 200 a 1000mg.L⁻¹ com agitação por 10 minutos aplicando 200mg.L⁻¹ de quitosana

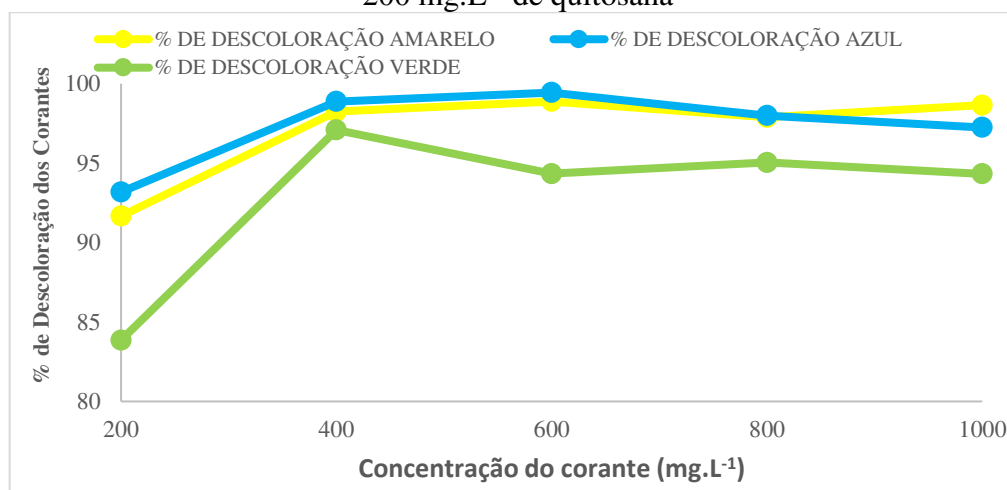
[]* Corante (mg.L ⁻¹)	Média de descoloração (%) ± Desvio Padrão		
	Amarelo 03	Verde 20	Azul marinho 16
200	91,67 ± 2,08 (b)	83,86 ± 1,61 (b)	93,18 ± 0,57 (c)
400	98,25 ± 0,88 (a)	97,09 ± 1,92 (a)	98,88 ± 0,74 (ab)
600	98,88 ± 0,56 (a)	94,33 ± 0,88 (a)	99,44 ± 0,50 (a)
800	97,88 ± 0,42 (a)	95,04 ± 0,26 (a)	98,00 ± 0,48 (b)
1000	98,65 ± 1,09 (a)	94,33 ± 0,86 (a)	97,24 ± 0,27 (c)

* [] = Concentração; Letras minúsculas iguais, na coluna, (Teste de Tukey) não apresentaram diferença significativa entre as médias (p<0,05).

Fonte: Autoria própria (2019).

Na Figura 9 é apresentado o gráfico para melhor interpretação dos dados experimentais apresentados na Tabela 13. É observado que houve alta redução da descoloração nas cinco diferentes concentrações de soluções coloridas após o tratamento com a solução de 200 mg.L⁻¹ de quitosana. Os maiores valores da descoloração foram para as soluções dos corantes, Amarelo 03 e Azul marinho 16, nas concentrações de 400 e 600mg.L⁻¹. Entretanto para a solução de corante Verde 20 a melhor descoloração foi para a concentração de 400mg.L⁻¹.

Figura 9 – Descoloração das soluções em função das suas concentrações quando utilizado 200 mg.L⁻¹ de quitosana



Fonte: Autoria própria (2019).

5.4 Avaliação da Retenção dos corantes pelo tratamento com 600mg.L⁻¹ de quitosana em diversos tempos de agitação seguida da filtração

Conforme anteriormente mencionada as interações dos corantes com a quitosana são eletrostáticas. A principal consequência dessa interação está na capacidade adsorptiva da

quitosana, possibilitando a extração do referido corante por meio de uma percolação (BARROS, ARROYO, 2004).

Os valores médios e do desvio padrão da descoloração das soluções dos corantes bem como a análise estatística dos dados para variação significativa pelos Testes ANOVA e Tukey estão contidos na Tabela 14.

Tabela 14 – Eficiência de descoloração em função do tempo de agitação quando utilizado 200 mg.L⁻¹ de corante e 600 mg.L⁻¹ de quitosana

Tempo de Agitação (min*)	Média de descoloração (%) ± Desvio Padrão		
	Amarelo 03	Verde 20	Azul marinho 16
2	92,36 ± 3,18 (ab)	88,43 ± 1,07 (b)	98,48 ± 1,18 (a)
4	92,36 ± 5,24 (ab)	91,58 ± 1,05 (b)	97,73 ± 0,57 (a)
6	88,89 ± 3,18 (b)	94,04 ± 3,70 (ab)	97,16 ± 0,57 (a)
8	89,58 ± 2,08 (b)	95,09 ± 2,65 (ab)	94,32 ± 1,14 (b)
10	95,83 ± 2,08 (a)	95,79 ± 1,05 (a)	93,75 ± 0,57 (b)
15	81,25 ± 2,08 (c)	96,49 ± 2,65 (a)	89,77 ± 1,50 (c)

* min = minutos; Letras minúsculas iguais, na coluna, (Teste de Tukey) não apresentaram diferença significativa entre as médias (p<0,05).

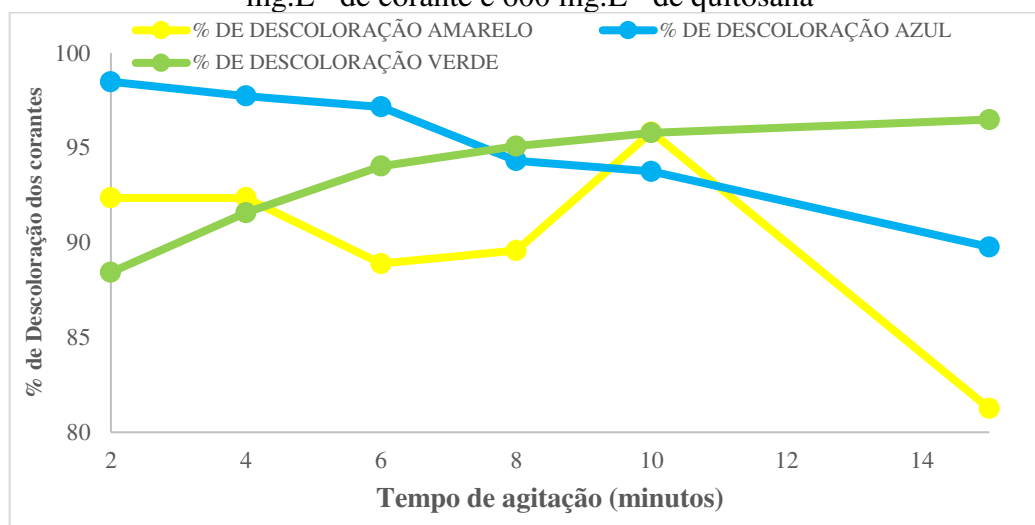
Fonte: Autoria própria (2019).

Ao analisar a influência do tempo de agitação (Figura 10) percebe-se que o corante Amarelo 03 obtém melhor resultado aos 10 minutos de agitação (95,83%). Observa-se, no entanto, que se mantido sob um maior tempo de agitação (15 minutos) a eficiência do processo reduz para 81,25%, nos levando supor que se a agitação for prolongada por muito tempo as partículas do corante tendem a se desprender da superfície da quitosana.

Diferentemente dos demais corantes analisados, o corante verde 20 apresentou um comportamento singular, no qual se obteve os melhores resultados sob um tempo maior de agitação (15 minutos) com uma porcentagem de redução de concentração do corante igual a 96,49%. Podendo então atribuir que este corante necessita de um tempo maior de contato com a quitosana para aderir na superfície do adsorvente, podendo este fato estar relacionado ao número de grupo aniônicos presentes no corante ou então à dimensão da molécula do referido corante.

O corante Azul marinho 16 apresenta resultados melhores quando submetido a menores tempos de agitação, com melhor índice na solução ocorrendo após 2 minutos (98,48%), sugerindo que a adsorção do corante ocorre rapidamente. Também se observa que maiores intervalos de agitação reduz o processo de adsorção, que pode ser atribuído ao fato das moléculas do corante não se adsorver tão fortemente com a quitosana.

Figura 10 – Eficiência de descoloração em função do tempo de agitação quando utilizado 200 mg.L⁻¹ de corante e 600 mg.L⁻¹ de quitosana



Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando os três tratamentos de adsorção com quitosana e filtração em paralelo, é verificada a eficiência dos procedimentos realizados devido aos altos valores de redução de concentração dos corantes das soluções indicando que todos os tratamentos foram bastante efetivos. Vale salientar que considerando a massa de quitosana aplicada e o tempo de aplicação do tratamento, foram obtidos excelentes resultados utilizando a concentração mínima de quitosana (200mg.L⁻¹) no menor tempo de agitação (2 minutos), confirmando a viabilidade do uso da quitosana na remoção dos corantes diretos amarelo 03, verde 20 e azul marinho 16.

6 CONCLUSÃO

A quitosana mostrou-se bastante eficiente como material adsorvente na remoção dos corantes Amarelo 03, Verde 20 e Azul marinho 16 através do processo de adsorção e filtração.

O filtro demonstrou-se eficaz na retirada da quitosana considerando que o diâmetro efetivo médio da areia grossa é, aproximadamente, igual a 1200 μm , o que permitiu reter partículas de quitosana que possuem diâmetro acima de 150 μm .

A redução da concentração dos corantes foi excelente, atingindo-se índices de até 99,44% de eficiência para os corantes Amarelo 03 e Azul marinho 16 e 97,03% para o corante Verde 20. Os tratamentos das soluções com a quitosana apresentaram valores acima de 90% de eficiência na redução da concentração de todos os corantes na menor massa do adsorvente (200 mg.L^{-1}).

O tempo de contato de 2 minutos, das soluções dos corantes com a quitosana, foi necessário para a redução de descoloração acima de 90% para os corantes amarelo 03 e azul marinho 16. Já para o corante verde 20, o tempo de contato com a quitosana, foi de 15 minutos.

Por fim, se destacam os traços sustentáveis presentes em todos os tratamentos aplicados, desde a construção do filtro, utilizando materiais de baixo custo até o material adsorvente, a quitosana, tendo em vista que a mesma é um derivado da quitina, grande constituinte do material de refugo da indústria pesqueira.

REFERÊNCIAS

ABIT – Têxtil e confecção – **Perfil do setor, dados atualizados em outubro de 2018**. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 15 jul. 2019.

AHMAD, M. A.; RAHMAN, N. K. Equilibrium, kinetics and thermodynamic of Remazol Brilliant Orange 3R dye adsorption on coffee husk-based activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 170, n. 1, p. 154-161, mai. 2011

AKAR, S. T.; AKAR, T.; ÇABUK, A. Decolorization of a textile dye, reactive red 198 (RR198), by *Aspergillus parasiticus* fungal biosorbent. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. São Paulo, v. 26, n. 2, p. 399-405 abr/jun. 2009

ALMEIDA E. J. R.; CORSO, C. R. Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*. **Chemosphere**, v. 112, p. 317-322, 2014.

ASSIS, O.B.G.; LEONI, A. M. Filmes comestíveis de quitosana: Ação biofúngica sobre frutas fatiadas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, 30: 33. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – determinação da composição granulométrica**: NBR NM 7181. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – determinação da composição granulométrica**: NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto**: NBR 7211. Rio de Janeiro, 2005.

BAENAS, J. M. H; CASTRO, R.; BATTISTELLE, R. A. G.; GOBBO JR., J. A. A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the midwest of the state of São Paulo (Brazil). **Journal of Cleaner Production**, n. 19, pp. 168-172, 2011. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/38653> Acesso em: 09 ago. 2019

BARROS, M. A. S.; ARROYO, P. A. Métodos de Remoção de Cromo de Águas Residuais. **Métodos de Adsorção**. Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, 2004.

BERGER, J.; REIST, M.; MAYER, J. M.; FELT, O.; GURNY, R. Structure and interactions in chitosan hydrogels formed by complexation or aggregation for biomedical applications. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 57(1): 35-52. 2004

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18. Ed., São Paulo: CETESB, 1993

BRILLAS, E.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods – An updated review. **Applied Catalysis B: Environmental** v. 166 – 167, p. 603 – 643, 2015.

CARDOSO, F. F. **Propriedades de adsorção de água em farinhas mistas de arroz e bagaço de cevada pré-gelatinizadas por extrusão termoplástica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Goiás, 2012.

CARDOSO, N. F. et al. Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1237-1247, abr. 2011.

CARDOSO, Natali F et al. Application of aqai stalks as biosorbents for the removal of the dyes Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 from Aqueous Solution. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 56, p. 1857-1868, 2011.

CARNEIRO, R. N. **As semelhanças, diferenças e interações dos circuitos de fluxos sócio espaciais de redes de dormir do Nordeste brasileiro**. 100 f. Tese (Doutorado em Geografia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

CARVALHO, T. E. M. **Adsorção de corantes aniônicos de solução aquosa em cinza leve de carvão e Zeólita de cinza leve de carvão**. 2010 29 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

CATÃO, A. J. L. **Estudo de adsorção de íons cobre (II) em esferas de quitosana e esferas de quitosana reticulada**. 2011. 54 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química Industrial), Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2011.

CHRISTIE, R. **La Química del color**. Zaragoza: Editorial ACRIBIA, S.A., 2003.

CONAMA **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 10 ago. 2019.

CONAMA. **Resolução Conama n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF: 16 maio 2011.

DEBRASSI, A.; LARGURA, M. C. T.; RODRIGUES, C. A. Adsorption of congo red dye by hydrophobic O-carboxymethyl chitosan derivatives. **Química Nova**. 2011;34(5):764–70.

DEL MONEGO, M.L.C. **Degradação eletroquímica de corantes e efluentes da indústria têxtil**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) –Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Campus Curitiba, Curitiba, 2007.

DILARRI, G.; ALMEIDA, E. J. R.; PECORA, H. B.; CORSO, C. R. Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of *Saccharomyces cerevisiae* (Meyen). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 269, 2016.

DOTTO, G. L.; PINTO, L. A. A. Adsorption of food dyes onto chitosan: Optimization process and kinetic. **Carbohydr. Polym.**, v.84, p. 231-238, 2011

DOS SANTOS, V. C. G. *et al.* Assessment of chemically modified sugarcane bagasse for lead adsorption from aqueous medium. **Water Science & Technology**, v. 62, n. 2, p. 457-465, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fisheries and Aquaculture Department. Fishery Statistical Collections Global Production.** Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/query/en>. Acesso em: 11 ago. 2019.

FERNANDES, A. C. P.; CUNHA, D. V.; CRAVEIRO, I. P. C.; PEREIRA, J. R. Q.; GUIMARÃES, T. A. P. S.; SOUSA, V. L. de. **Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil por Adsorção em Materiais de Baixo Custo.** Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl₂ e fisicamente com vapor d'água:** produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto. 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2008.

FERRARI, L. D. F. **Remoção de corante de efluentes da Indústria têxtil utilizando processos com membranas e adsorção em bagaço de laranja.** 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) –Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

FREIRE, F. B.; FREITAS, S. L. de. Avaliação da remoção de cor de um efluente têxtil sintético. **Engenharia Ambiental**, vol. 7; n. 3; p. 241-249, jul./set. 2010

FREIRE, L. F. A. *et al.* Avaliação da Adsorção de Efluente Têxtil por Compósitos de Quitosana. **Revista Processos Químicos**, p. 9-17, 2018.

FURLAN, F. R.; SILVA, L. G.; MORGADO, A. F.; SOUZA, A. A.; SOUZA, S. M. Removal of reactive dyes from aqueous solution using combined coagulation/flocculation and adsorption on activated carbon. **Resource, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 283-290, 2010.

GALINDO, I. M. P. **Sostenibilidad: obtención de quitina a partir de sustancias de desecho.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade de Sevilla, 2018.

GOMES, E. S.; FERREIRA, D. A.; MONTE, F. J. Q.; ASSUNÇÃO, J. C. C. Síntese e aplicação de corantes têxteis. **V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológico.** Instituto Federal de Alagoas, Alagoas, AL, 2010.

GÓMEZ-ESTACA, J.; LÓPEZ de L. A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, P. Biodegradable gelatine-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. **Food Microbiology**, 27: 889-896, 2010.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova.** Vol 23. Nº 1. São Paulo, 2000.

HABIBA, U.; SIDDIQUE, T. A.; JOO, T. C.; SALLEH, A.; ANG, B. C.; AFIFI, A. M.; Synthesis of chitosan/polyvinyl alcohol/zeolite composite for removal of methyl orange, Congo red and chromium (VI) by flocculation/adsorption. **Carbohydrate Polymers** v. 157, p. 1568 – 1576, 2017

HOSSEINI, S. D.; ASGHARI, F. S.; YOSHIDA, H. Decomposition and discoloration of synthetic dyes using hot/liquid (subcritical) water. **Water Research**, v. 44, p. 1900-1908, 2010.

HUERTA, A. C.; RICÓN, M. C.; INCIARTE, A. C. V.; LÓPEZ, A. Obtención y caracterización de película de quitosano elaborado a partir de los desechos de la industria canjejera. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 13, n. 3, p. 77-88, julho 2012.

IMMICH, A. P. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *azadirachtaindica* Como adsorvente.** 2006 119p. Dissertação (Mestrado) - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

JADHAV, J. P.; PHUGARE, S. S.; DHANVE, R. S.; JADHAV, S. B. Rapid biodegradation and decolorization of Direct Orange 39 (Orange TGLL) by an isolated bacterium *Pseudomonas aeruginosa* strain BCH. **Biodegradation**, v. 21, p. 453-463, 2010.

JAAFARI, K.; ELMALEH, S.; COMA, J.; BENKHOUSA, K. Equilibrium and kinetics of nitrate removal by protonated cross-linked chitosan. **Water SA**, 27(1): 9-13. 2001

JÉQUIER, E.; CONSTANT, F. Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. **European Journal of clinical nutrition**, v. 64, p. 115-23, 2010.

KALPANA, P.; KING, P. Biosorption of Malachite Green Dye onto *Araucaria cookii* Bark: Optimization Using Response Surface Methodology. **Asian Journal of Chemistry**, v. 26, n. 1, p. 75, 2014.

KAO, C. M.; CHOU, M. S.; FANG, W. L.; LIU, B. W.; HUANG, B. R. Regulating colored textile wastewaters by 3/31 wavelength ADMI methods in Taiwan. **Chemosphere**, v. 44, p. 1055-1063, 2001.

KHANDEGAR, V.; SAROHA, A. K. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – review. **Journal of Environmental Management**. p. 949 -963, 2013.

KHATAEE, A. R.; VAFAEI, F.; JANNATKHAN, M. Biosorption of three textile dyes from contaminated water by filamentous green algal *Spirogyra* sp.: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 83, p. 33-40, set. 2013.

KHATRI, A.; PEERZADA, M. H.; MOHSIN, M.; WHITE, M. A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. **Journal of Cleaner Production** v. 87, p. 50 – 57, 2015.

KHOR, E.; LIM, L.Y. Implantable applications of chitin and chitosan. **Biomaterials**, 24(13): 2339-2349. 2003.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, n. 25, p. 78-82, 2002.

MORÃO, L. G.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. An approach to textile dye removal using sawdust from *Aspidosperma polyneuron*. **International Journal of Environmental Studies**, v. 74, p. 75-85, 2016.

MOURA, C. M. **Avaliação da reação de desacetilação da quitina e estudo da secagem de pellets de quitosana para a aplicação em filmes poliméricos**. 2008, Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, FURG.

MATOS, T. T. S.; JESUS, A. M. D.; ARAÚJO, B. R.; ROMÃO, L. P. C.; SANTOS, L. O.; SANTOSA, J. M. Aplicação de Subprodutos Industriais na Remoção de Corantes Reativos Têxteis. **Revista Virtual Química**, v.5, pp. 840-852, 2013.

NEVES, T. A. **Tratamento Físico-Químico dos Efluentes Líquidos da Produção de Biodiesel Metílico em Regime de Funcionamento Contínuo e Batelada**. 2011 36 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT. 2011.

NG, M.; LIANA, A. E.; LIU, S.; LIM, M.; CHOW, C. W. K.; WANG, D.; DRIKAS, M.; AMAL, R. Preparation and characterisation of new-polyaluminum chloride-chitosan composite coagulant. **Water Research**. v. 46, p. 4614-4620, 2012.

OGUNTINMEIN, G. B. Biosorption of dye from textile wastewater effluent onto alkali treated dried sunflower seed hull and design of a batch adsorber. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 4, p. 2647-2661, dez. 2015.

OLIVEIRA, L. H.; ARRAES, D. D.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. O.; RAMOS, P. H. Estudo da adsorção do corante rodamina B em argila natural. **10º Encontro Brasileiro de Adsorção**. Guarujá –SP, 2014.

OLSEN, R. L.; TOPPE, J.; KARUNASAGAR, I. Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. **Trends in Food Science & Technology**. v. 36, n° 2, p. 144–151, 2014.

ÖZACAR, M.; SENGIL, I. A. Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust. **Bioresour. Technol.**, 96: 791-795 (2005).

PAST3. Disponível em: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>
Acesso em: 25 ago. 2019.

PEIXOTO, F.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Corantes Têxteis: uma revisão. **Holos**, 20, v. 5, p. 98-106, 2013.

PESANTEZ, F. F.; TORRES, M. C. Obtención del quitosano provenientes del cangrejo rojo combinado con almidón de banana para formar filmes. Obtaining the chitosan from the red crab combined with banana starch to form films. **Conference Proceedings UTMACH**, vol. 2, n. 1, p. 179-187, dezembro 2017.

PINTO, R. B. **Remoção do corante têxtil preto de remazol b de soluções aquosas usando adsorventes a base de casca de pinhão**. 2012 11 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

PIZARRO CABELO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511 p.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. **Caracterização da Qualidade da Água**. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W. *et al.* Hidrologia ambiental. v.3. São Paulo: Edusp: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.

PRIYA, E. S.; SELVAN, P. S.; UMayal A. N. Biodegradation studies on dye effluents and selective Remazol dyes by indigenous bacterial species through spectral characterization. **Desalination and Water treatment**, v. 55, p. 241-251, 2015.

RECK, I. M.; REBECCA, M. P. Impactos ambientais dos corantes azo e tratamentos de remoção: uma revisão. **Revista UNINGÁ**, v. 1.28, n.2, pp.61-66, 2016

RINAUDO, M. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670006000530>. Acesso em: 31 ago 2019.

ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresour. Technol.**, 77: 247-255 (2001).

ROSA, S. da. **Adsorção de corantes reativos utilizando sal quaternário de quitosana como adsorvente**. 2009. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Rio Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SAFA, Y.; BHATTI, H. N. Adsorptive removal of direct textile dyes by low cost agricultural waste: Application of factorial design analysis. **Chemical Engineering Journal**, v. 167, n. 1, p. 35-41, fev. 2011.

SANTOS, P. K.; FERNANDES, K. C.; FARIA, L. A.; FREITAS, A. C.; SILVA, L. M. Descoloração e degradação do azo corante vermelho GRLX-220 por ozonização. **Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1315-1322, 2011.

SILVA, R. F. da. **Degradação de Corante de Efluente Têxtil por Processo Oxidativo Avançado**. Tese de doutorado – UFPE, 2015 Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17383/1/TESE%20VERSAO%20CD.pdf> Acesso em; 10 ago. 2019.

SKOOG, A. D.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de química analítica**. 8ª Ed. Thomson, São Paulo, 2006. 999p.

SOUZA, J. R. de *et al.* A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, v. 8, n. 1, p. 26–45, 2014.

TANADA, P. P.; PROENÇA P. S. P.; TRANI F. A. P.; GROSSO C. R. F. Recobrimento de sementes de brócolis e salsa com coberturas e filmes biodegradáveis. **Bragantia**, 64(2): 291-297. 2005.

TASHIMA, M. M. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, abr/jun. 2012

TARGA, M. S.; BATISTA, G.T. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, 2015.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de Água no Processo de Tingimento da Indústria Têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química– Universidade Federal de Santa Catarina). Florianópolis, 2004.

UNESCO. **Water in a changing world**. The United Nations World Water Development Report 3. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 2009.

VALENCIA, C. A. V. **Aplicação da adsorção em carvão ativado e outros materiais carbonosos no tratamento de águas contaminadas por pesticidas de uso agrícola**. 2007 23p. Dissertação (Mestre em Engenharia Metalúrgica) - Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

VASQUES, A. R.; SOUZA, Selene M. A. G. U.; WEISSENBERG, L. de; SOUZA, A. A. U. de; 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.

VIJAYARAGHAVAN, K.; YUN, Y. Bacterial biosorbents and biosorption. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 3, p. 266-291, mai/jun. 2008.

VON SPERLING. M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: 3. Ed. –Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. v.1, 452 p. 2005

YOUNES I.; RINAUDO, M. Chitin and Chitosan Preparation from Marine Sources. Structure, Properties and Applications, **Marine Drugs**, vol. 13, pág. 1133-1174, 2015

ZOLIN, C. A. *et al.* The first Brazilian municipal initiative of payments for environmental services and its potential for soil conservation. **Agricultural Water Management**, v. 137, p. 75-83, 2014.