

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA TÊXTIL**

JOZIEL APARECIDO DA CRUZ

**TRATAMENTO E REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL GERADO
PELOS LABORATÓRIOS DE LAVANDERIA E ESTAMPARIA DA
UTFPR, EM PROCESSO DE TINGIMENTO TÊXTIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

APUCARANA

2015

JOZIEL APARECIDO DA CRUZ

**TRATAMENTO E REUTILIZAÇÃO DO EFLUENTE TÊXTIL GERADO
PELOS LABORATÓRIOS DE LAVANDERIA E ESTAMPARIA, EM
PROCESSO DE TINGIMENTO TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof^a Dr^a Valquíria A. S. Ribeiro
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a Ana Cláudia Ueda

APUCARANA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana
Curso de Engenharia Têxtil



TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO E REUTILIZACAO DE EFLUENTE DOS LABORATORIOS DE LAVANDERIA E ESTAMPARIA DA UTFPR, EM PROCESSO DE TINGIMENTO TÊXTIL

por

JOZIEL APARECIDO DA CRUZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos vinte e cinco dias do mês de novembro de dois mil e quinze, às treze horas, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil, do Curso Superior em Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

PROFESSORA VALQUÍRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – ORIENTADORA

PROFESSOR LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR

PROFESSORA MARAÍSA LOPES DE MENEZES – EXAMINADORA

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

*“Quando você tem uma meta,
o que era um obstáculo passa a ser
uma das etapas do seu plano”.*

(BOEHME, Gerhard. E. 1975)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido a graça da vida, saúde e toda força necessária durante toda essa jornada.

Aos meus pais pelo amor incondicional, ajuda, incentivo, confiança, por sempre estarem ao meu lado acreditando e me apoiando.

As professoras Dr^a Valquiria Aparecida dos Santos Ribeiro e Dr^a Ana Cláudia Ueda por todas orientações, críticas, sugestões e incentivos durante a execução desse trabalho e de muitos outros de iniciação científica.

A todos os professores da UTFPR Apucarana pela dedicação, amizade, companherismo e conhecimento que me foi proporcionado ao longo de todos esses anos como aluno de curso técnico e graduação.

À Natalia, estagiária dos laboratórios da UTFPR, pela ajuda nas análises e amizade durante a realização desse trabalho.

A UTFPR Apucarana em geral por tudo que me proporcionou ao longo desses anos.

E por último, e nem por isso menos importante aos meus amigos por toda parceria, amizade, brincadeiras, amor e carinho.

RESUMO

CRUZ, Joziel Aparecido. Tratamento e reutilização do efluente têxtil gerado pelos laboratórios de lavanderia e estamperia, em processo de tingimento têxtil. 2015. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Têxtil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Apucarana, 2015.

A contaminação ambiental atualmente é um dos maiores problemas da sociedade. Diante disso, as indústrias têm assumido uma nova postura perante as questões ambientais em busca de um desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o setor têxtil possui um elevado potencial poluidor, visto que essas indústrias apresentam uma alta relação de água consumida por volume de material processado, gerando excessiva quantidade de efluentes, os quais se caracterizam por serem altamente coloridos devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento, além de elevada carga orgânica e compostos químicos tóxicos, que não podem ser descartados na rede de esgoto ou em corpos de água, ou simplesmente ser lançados ao solo sem um tratamento adequado para remoção desses agentes contaminantes. Com base nisso, o objetivo desse trabalho foi otimizar as melhores condições a partir de um (Delineamento composto central rotacional DCCR) para o coagulante tanino e outro para o sulfato de alumínio. Posteriormente, o efluente tratado foi reutilizado em processos de tingimento com corante reativo em tecido PT 100% algodão e comparado com o mesmo processo utilizando água, com base em análise visual em cabine de cores. Os principais resultados mostraram que as melhores condições para remoção de cor foram: no tratamento com tanino concentração de 150 mg.L^{-1} em pH 6,0 e para o sulfato de alumínio concentração de 900 mg.L^{-1} em pH 10. Para o reuso verificou-se que as principais interferências se deram na utilização de efluente tratado com sulfato de alumínio devido ao residual de metal que permanece no efluente após o tratamento.

Palavras chave: Indústria Têxtil. Efluentes. Tratamento. Tanino. Reutilização.

ABSTRACT

CRUZ, Joziel Aparecido. Treatment and reuse of textile effluents generated by the laundry and printing laboratories in the textile dyeing process. 2015. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Têxtil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Apucarana, 2015.

Currently, environmental contamination is one of the biggest problems with society. Therefore, the industries have taken a new attitude toward environmental issues in pursuit of sustainable development. In this context, the textile sector has a high potential for pollution, whereas this industries feature a high relation of water consumed by volume of processed material. This industry also generates amounts excessive of effluent, that are highly colored due to the presence of dyes that does not fixate on the fiber during the dyeing process, in addition to high organic loading and compounds toxic chemicals. These chemicals can not be discarded in the sewage network or in water bodies, or simply be thrown into the soil without adequate treatment to removal these agents contaminants. This search aims optimize better terms for planning factorial, the execution of treatment chemical physical of textile effluents, using Tanino (organic coagulant) singly, like coagulant, flocculant and/or complement. Subsequently, the treated effluent will be reused in dyeing processes, with dye reactive in fabric PT 100% cotton and compared with the same process using water with base in tests of quality of textile articles. The main results showed that the best conditions for color removal were in treatment with tannin concentration of 150 mg l-1 at pH 6.0 and aluminum sulphate concentration of 900 mg l-1 at pH 10. reuse it was found that the main interference given to the use of the effluent treated with aluminum sulphate because of residual metal remaining in the effluent after treatment.

Key-words: Textile Industry. Effluents. Treatment. Tannin. Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo produtivo têxtil	16
Figura 2 - Operações do beneficiamento têxtil	18
Figura 3 - -Princípio de tingimento	20
Figura 4 - Esquema da desestabilização dos colóides em suspensão em efluentes	27
Figura 5 - Esquema floculação dos coloides desestabilizados.	27
Figura 6 - Fluxograma das etapas realizadas na parte experimental do trabalho	40
Figura 7- Espectro de absorção do efluente bruto na região de luz visível.	42
Figura 8 - Valores observados e previstos pelo modelo estatístico para o Tanino....	45
Figura 9 – Superfície de Resposta da remoção de cor no tratamento com o Tanino	46
Figura 10 – Curva de contorno da remoção de cor no tratamento com Tanino.	47
Figura 11 - Valores observados e previstos do modelo estatístico para o $Al_2(SO_4)_3$.	51
Figura 12 – Superfície de resposta da remoção de cor com o sulfato de alumínio ...	52
Figura 13 – Curva de contorno da remoção de cor com o sulfato de alumínio	53
Figura 14 – Comparativo visual da água, efluente bruto e tratado.	54
Figura 15 – Comparativo das amostras tingidas (amarelo, azul e preto)	55
Figura 16 – Comparação das amostras tingidas na cor amarela.	55
Figura 17 – Comparação das amostras tingidas na cor azul.....	56
Figura 18 – Comparação das amostras tingidas na cor preta.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equipamentos a serem utilizados no trabalho.....	29
Tabela 2 - : Reagentes a serem utilizados no trabalho	30
Tabela 3 - Metodologias para caracterização físico-químicas dos efluentes.....	31
Tabela 4- Caracterização físico -químicas do efluente.....	41
Tabela 5 – Parâmetros e resultados para reduções em % de coloração, DQO, turbidez e SST.....	43
Tabela 6 - Valores do ajuste linear e da interação entre os parâmetros estudados para redução de cor.	44
Tabela 7 - ANOVA para a resposta de descoloração para o modelo parametrizado	45
Tabela 8- Parâmetros e resultados de reduções em % de coloração, DQO turbidez e SST para o sulfato de alumínio.	49
Tabela 9- Valores do ajuste linear e da interação entre os parâmetros estudados para redução de cor.	50
Tabela 10 - Coeficientes de regressão da resposta de remoção de cor no tratamento com sulfato de alumínio	50
Tabela 11 - ANOVA para a resposta de descoloração para o modelo parametrizado	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Parâmetros e níveis avaliados pelo $DCCR_T$	35
Quadro 2 - Parâmetros e níveis avaliados pelo $DCCR_{SA}$	35
Quadro 3 - Valores codificados do $DCCR_t$, utilizados no tanino e pH	36
Quadro 4 - Valores codificados do $DCCR_{sa}$, no $Al_2(SO_4)_3$ e pH	36
Quadro 5 - Receita de tingimento utilizado no trabalho.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

Abs	Absorbância
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de alumínio
DCCR _t	Delineamento composto central rotacional para o tanino
DCCR _{SA}	Delineamento composto central rotacional para o sulfato de alumínio
DQO	Demanda química de oxigênio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	INDÚSTRIA TÊXTIL.....	16
2.2	BENEFICIAMENTO TÊXTIL	17
2.2.1	A Água nos Beneficiamentos Têxteis	18
2.2.2	Pré Tratamento.....	19
2.2.3	Tingimento.....	20
2.2.4	Estamparia	21
2.2.5	Acabamento	21
2.3	AS LAVANDERIAS INDUSTRIAIS.....	22
2.4	EFLUENTE TÊXTIL	23
2.4.1	Impactos ambientais do efluente têxtil.....	23
2.5	ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS.....	24
2.5.1	Processo biológico.....	25
2.5.2	Processo físico químico	26
2.5.3	Sulfato de alumínio.....	28
2.5.4	Tanino.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	MATERIAIS.....	29
3.1.1	Equipamentos.....	29
3.1.2	Reagentes	30
3.2	MÉTODOS	30
3.2.1	Coleta do efluente.....	30
3.2.2	Caracterização do efluente.....	31
3.2.3	Determinação do Potencial de Hidrogênio (pH).....	32
3.2.4	Determinação da Cor.....	32
3.2.5	Determinação da Turbidez	32
3.2.6	Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	33
3.2.7	Determinação do Comprimento de Onda de Máxima Absorbância	33
3.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	34
3.4	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE	37
3.4.1	Análise do efluente tratado	37

3.5	OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO.....	37
3.5.1	Tratamento físico químico do efluente com a condição otimizada.....	38
3.6	REALIZAÇÃO DO TINGIMENTO.....	38
3.7	AValiaÇÃO DAS AMOSTRAS SUBMETIDAS AO TINGIMENTO.....	39
3.7.1	Ensaio de Variação de Cor e Manchamento	39
3.8	ETAPAS REALIZADAS NA EXECUCAO DO TRABALHO.	40
4	RESULTADOS E DISCUSSão.....	41
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO.....	41
4.2	TRATAMENTO DO EFLUENTE COM COAGULANTE TANINO	43
4.2.1	Avaliação das respostas analíticas: descoloração, DQO, turbidez e sólidos para o Tanino.....	43
4.3	TRATAMENTO DO EFLUENTE COM SULFATO DE ALUMINIO	48
4.3.1	Avaliação das respostas analíticas: descoloração, DQO, turbidez e SST para o Sulfato de alumínio.	49
4.4	RESULTADOS DOS TINGIMENTOS	54
4.5	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O elevado crescimento demográfico juntamente com a intensa industrialização, mau utilização dos recursos naturais e altos índices de poluição, têm provocado nos últimos anos grande preocupação em âmbito mundial. Um dos principais motivos que acentuam esses problemas refere-se ao desenvolvimento industrial, visto que em seus processos geram elevadas quantidades de resíduos sólidos, efluentes líquidos e gasosos, que muitas vezes acabam sendo descartados de maneira inadequada.

Diante dessa realidade, as indústrias têm buscado se adequar para atender à legislação ambiental e obter o crescimento sustentável concatenando os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

O setor têxtil possui um elevado potencial poluidor por apresentar uma alta relação de água consumida por volume de material processado, gerando excessiva quantidade de efluentes, os quais se caracterizam por serem altamente coloridos devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento, além de apresentarem elevada carga orgânica e compostos químicos tóxicos, que não podem ser descartados na rede de esgoto ou em corpos de água, ou simplesmente ser lançados ao solo sem um tratamento adequado para remoção desses agentes contaminantes.

As técnicas de tratamento de efluentes empregadas nas indústrias têxteis são determinadas de acordo com as características dos efluentes gerados e normalmente são baseadas em processos biológicos, seguidos de métodos físico-químicos a fim de atender às legislações ambientais vigentes na região.

Além disso, recentemente muitas pesquisas têm sido realizadas para estudar a eficácia e viabilidade de novas tecnologias avançadas, que são promissoras em termos de desempenho no tratamento e possível reutilização de efluentes têxteis. Estas tecnologias incluem: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa, processos oxidativos avançados, eletroquímica, adsorção, troca iônica dentre outras, e apresentam resultados extremamente satisfatórios, contudo, ainda são pouco empregadas em escala industrial. Isso se deve principalmente ao elevado custo de

implantação e manutenção de estações de tratamento de efluentes ETEs com essa tecnologia (Monte e Albuquerque 2010).

Existem também diversos estudos sendo realizados com o objetivo de desenvolver tecnologias capazes de minimizar a carga e a toxicidade dos efluentes industriais, com intuito de não apenas remover as substâncias contaminantes para disposição final, mas reutilizar essa água. Visto que o processo produtivo têxtil demanda elevada quantidade de água, a reutilização desse efluente após tratamento pode ser uma alternativa promissora no que se refere a redução do consumo, manutenção dos recursos naturais e minimização dos impactos ambientais (RIBEIRO, 2010).

Levando em consideração a grande demanda de água e conseqüentemente o alto volume de efluente gerado pelo processo produtivo têxtil, esse trabalho tem por objetivo geral, analisar a influência da utilização de efluente tratado por processo físico químico (coagulação floculação) comparando dois coagulantes (tanino e sulfato de alumínio) para tingimento têxtil

Para que o objetivo geral fosse alcançado, as seguintes etapas foram realizadas:

- Coleta e caracterização do efluente gerado nos laboratórios.
- Otimização das melhores condições de tratamento físico-químico por meio de planejamento experimental.
- Realização de tingimentos com água e efluente tratado;
- Análise das amostras tingidas.
- Analisar os resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

O setor têxtil tem enorme relevância no desenvolvimento econômico e social brasileiro. Composto por mais de 32.000 empresas, distribuídas nos segmentos de fiação, tecelagem, malharia, estamparia, tinturaria e confecções, esse setor emprega diretamente cerca de 1,7 milhões de brasileiros além de 8 milhões de empregos indiretos (IEMI, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2013), o Brasil é o quinto maior produtor têxtil mundial, com um faturamento de US\$ 58,2 bilhões no ano de 2013. Exportou nesse mesmo ano US\$ 2,3 bilhões e importou US\$ 6,8 bilhões

Segundo Costa e Rocha (2009), a cadeia produtiva têxtil, é formada por vários setores autônomos que interagem de forma organizada dando continuidade ao processo produtivo. De acordo com a ABIT (2013) a estrutura da cadeia produtiva e de distribuição têxtil e confecção é representada na Figura 1.

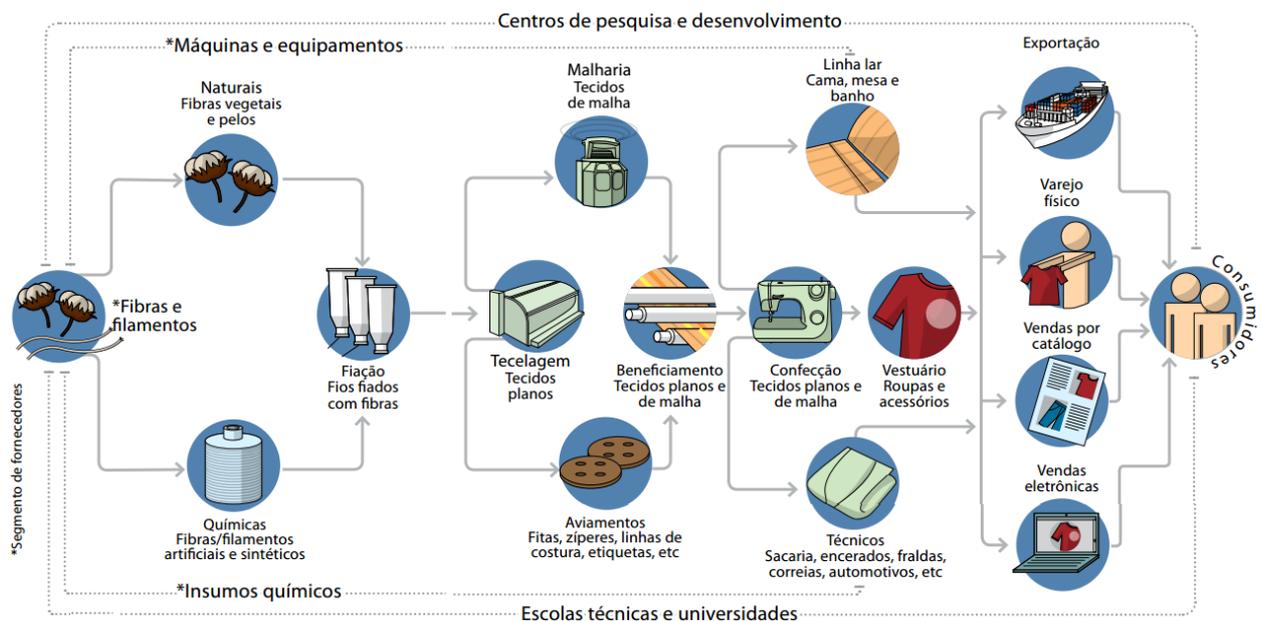


Figura 1 - Processo produtivo têxtil

Fonte: ABIT (2013).

A cadeia têxtil é composta por vários segmentos que se diferem em estrutura física, mão-de-obra empregada, tecnologia e capital envolvido. Todo artigo tem início com a obtenção da matéria-prima (fibras naturais ou químicas), seguindo para fiação, tecelagem ou malharia, beneficiamento/acabamento em que agregará características específicas, como por exemplo, obtenção do branco, de peças tintas ou de acabamentos com finalidades estéticas ou funcionais, tais como amaciamento, repelência a líquidos, efeito bactericida dentre outros ABIT (2013).

Posteriormente, segue-se à etapa de confecção de peças, na qual o material irá ganhar forma se transformando em artigos para o vestuário, cama, mesa, banho e artigos técnicos e subseqüentemente o produto passa pelo processo de logística de vendas ate finalmente chegar ao consumidor final. Cada uma dessas etapas é concretizada de forma descontínua, agregando ao produto características próprias, e pode acontecer sem obedecer a uma seqüência sistemática (SALEM, DE MARCHI e MENEZES, 2005).

Freitas (2002) relata que dentre todas as etapas do processo produtivo têxtil, o setor de beneficiamento/acabamento é o que apresenta maior potencial poluidor, principalmente dos corpos de água, das regiões em que atua.

2.2 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

O beneficiamento têxtil engloba um conjunto de operações nas quais o substrato têxtil (fibra, fio, malha, tecido plano ou peça confeccionadas) é submetido, após sua obtenção, até estar pronto para uso. De acordo com Salem, De Marchi e Menezes (2005) essas operações podem ser subdivididas em tratamento prévio, branqueamento ótico, tingimento, estamparia e acabamento, mas não necessariamente seguem esta seqüência como mostra a Figura 2. É durante essa etapa que são gerados grande parte dos efluentes têxteis.

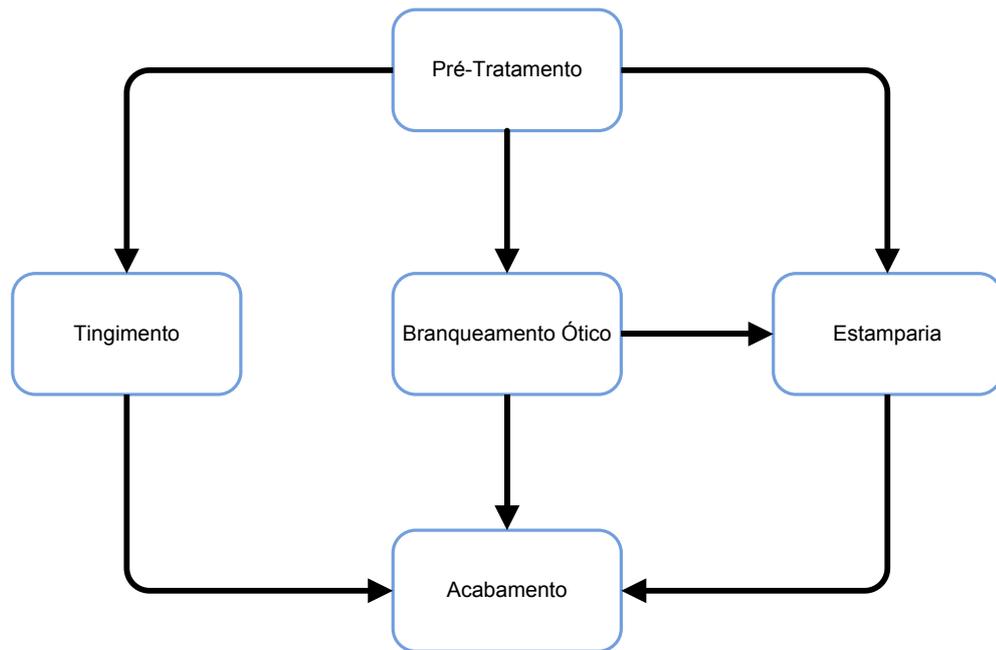


Figura 2 - Operações do beneficiamento têxtil

Fonte: Adaptado de Salem, de Marchi, e Menezes (2005).

2.2.1 A Água nos Beneficiamentos Têxteis

Nos processamentos têxteis a água é uma das principais matérias primas, servindo como agente de limpeza e transporte dos produtos químicos, como fonte de aquecimento e resfriamento (CAMBOIM e CAMPOS, 2010).

A qualidade da água utilizada nos processamentos a úmido na indústria têxtil é tão importante quanto a qualidade da matéria-prima utilizada na formação do substrato têxtil, visto que a utilização de água de má qualidade pode danificar o produto, podendo até mesmo inutilizá-lo.

Grande parte dos defeitos que surgem após o beneficiamento do substrato têxtil é provocada pela utilização de água baixa qualidade. Salem (2010) afirma que os contaminantes, principalmente os metais, não são desejáveis na água, pois dificultam a otimização, reprodutibilidade controle de processos. Essa qualidade da água está relacionada diretamente com o processamento que será realizado, não tendo a mesma exigência para todas as operações.

Nos processos de tingimento, estamparia e acabamento, a água utilizada tem que apresentar elevada qualidade e para as etapas de preparação do substrato têxtil, a água, pode apresentar qualidade inferior (MONTE e ALBUQUERQUE, 2010).

Monte e Albuquerque (2010) relatam que os parâmetros mais relevantes da água, que podem provocar danos significativos nos processamentos têxteis são: pH, cor, turbidez, íons de ferro, manganês e cobre, alcalinidade, dureza e sais (nitratos, nitritos, cloretos e sulfatos). Araujo e Castro (1984) não apresentam quais são os limites para a qualidade da água a ser utilizada nos processos de beneficiamento de artigos têxteis, apenas salientam que a água não deve conter sólidos em suspensão e substâncias que possam provocar manchas, não deve conter excesso de ácidos e nem de álcalis, e apresentar pH o mais próximo possível de 7, não deve conter sais de ferro, manganês, cálcio, magnésio e metais pesados, nitritos e cloro, e não deve conter substâncias que provoquem espumas e odores desagradáveis.

2.2.2 Pré Tratamento

Pré-tratamento ou tratamento primário consiste na etapa inicial do processo de beneficiamento pela qual se passa todos os substratos têxteis antes de chegarem ao tingimento, estamparia ou acabamento, visando garantir característica de uniformidade no artigo final. Para garantir que isso ocorra, é necessário que se elimine os resíduos, sujeiras, óleo e goma, adquiridos nos processos anteriores (obtenção da fibra, fiação, malharia e/ou tecelagem) (SALEM, DE MARCHI, e MENEZES, 2005).

Esse tratamento prévio varia de acordo com o substrato têxtil e aplicação final. Os processos que englobam a etapa de pré-tratamento são: chamuscagem, desengomagem, mercerização/caustificação, purga, pré-alveijamento, alveijamento e termofixação (ARAUJO e CASTRO, 1984).

2.2.3 Tingimento

De acordo com Salem (2010), o tingimento é uma modificação físico-química do substrato têxtil, mediante corantes ou pigmentos, de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Essa operação é destinada a colorir uniformemente os materiais têxteis, mediante a saturação dos mesmos com uma solução corante. Na Figura 3 encontra-se o modelo do princípio desse processo de tingimento.

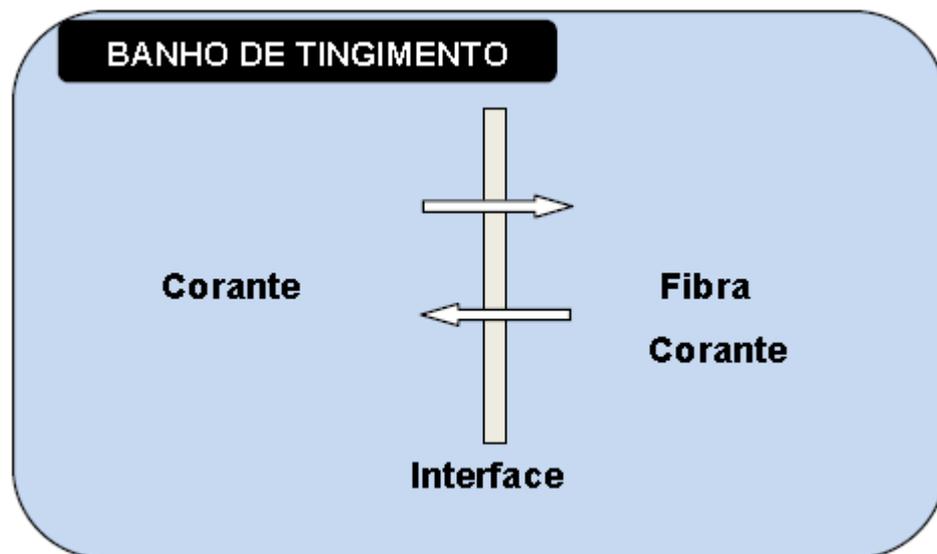


Figura 3 - -Princípio de tingimento

Fonte: Salem, de Marchi, e Menezes, (2005).

O modelo apresentado descreve o tingimento como um processo de transferência de massa e pode ser aplicado a todos os tipos de sistemas (contínuo ou por esgotamento, em algodão ou fibras sintéticas, em fios, tecidos ou peças prontas).

Por razões econômicas e ambientais, deseja-se que a exaustão do corante (banho – fibra) seja a máxima possível, sendo que para melhorar o percentual de exaustão do corante são usados nos banhos alguns produtos auxiliares (SALEM, DE MARCHI, e MENEZES, 2005).

Muitos dos processos de tingimento são reversíveis e enquanto certa quantidade de corante se transfere do banho para a fibra, outras moléculas de corantes são desorvidas da fibra e retornam para o banho. Isto ocorre até o momento em que a quantidade de corante que entra e que sai da fibra seja equivalente, ou seja, até o

momento em que o sistema entra em equilíbrio. A partir de então, não adianta mais aumentar o tempo para obter uma maior fixação. O tempo necessário para que ocorra esse equilíbrio dependerá de alguns fatores, tais como temperatura, tipo de corante, tipo de fibra e a presença de produtos auxiliares (ARAUJO e CASTRO, 1984).

2.2.4 Estamparia

A estamparia é um método que consiste na aplicação de cor em áreas localizadas ou em toda a largura e extensão do tecido com uma ou mais cores ou ainda sem coloração nenhuma (KADOLPH, 2009).

A problemática ambiental da estamparia segundo Ribeiro (2010) esta relacionada aos produtos químicos utilizados, que após cumprirem a sua função são descartados junto ao banho, seguindo para a estação de tratamento de efluentes da empresa.

2.2.5 Acabamento

O acabamento têxtil consiste no conjunto de operações e processos sobre o substrato já tinto e/ou estampado, os quais têm por objetivo conferir ou modificar o aspecto, toque e propriedades gerais destes materiais de tal forma a adaptá-los às exigências da moda ou a finalidade a que se destinam, e com isso, agregar valor aos produtos (NEEDLES, 1986).

Os acabamentos se dividem em dois grandes ramos: não-permanentes e permanentes. Os primeiros podem acontecer por deposição e colagem (carga, amaciamento, impermeabilização parcial) ou por efeitos físicos (calandragem obtendo efeitos de simples alisamento, chasing, silk, moiré). Já os acabamentos permanentes ocorrem de forma mecânica (sanforização, flanelagem, feltragem) ou química (acabamento wash and wear, acabamentos com silicone, acabamento anti-chama) (ARAUJO e CASTRO, 1984).

Existem ainda outros tipos de acabamento como a inserção de microcápsulas na estrutura dos materiais para efeito meramente estético ou com aplicações funcionais. Sanches (2006) cita, a utilização de pigmentos cromotrópicos ou termocrômicos, estes podem ser aplicados em roupas para fins de diferenciação, por exemplo, vestidos de noite que mudam de cor conforme o comprimento de onda, ou ainda, para fins de segurança, como roupas que mudam de cor quando o usuário está exposto a altas temperaturas e radiações). Pode-se citar também a inserção de microcápsulas com perfume, com hidratante ou até mesmo com remédios que são liberados com a força de atrito, entre outras inovações. O método de aplicação destas microcápsulas pode ser por impregnação em foulard, estamparia e até mesmo por meio de spray (SILVA FILHO, 2007).

2.3 AS LAVANDERIAS INDUSTRIAIS

As lavanderias industriais pertencem ao segmento de beneficiamento/acabamento e trabalham na área dos efeitos visuais, os quais tem o objetivo de alterar a textura da peça, de forma a trabalhar a linguagem definida pelos estilistas. Elas tem por finalidade agregar valor às peças confeccionadas, por meio de processos físicos e químicos, dividindo-se em dois grupos: o de tingimento de roupas e o de lavagem de roupas (RIBEIRO, 2010).

O tingimento de peças confeccionadas visa colorir as peças de acordo com as características físicas e químicas da fibra, ou seja, de acordo com os grupos químicos que proporcionarão a ligação fibra-corante e da aplicação final do produto (SALEM, DE MARCHI, e MENEZES, 2005).

A etapa da lavagem propriamente dita tem por finalidade agregar características diferenciadas por meio de interações físicas ou químicas. Essas operações são possíveis devido à classe de corante empregada no processo de tingimento, que tingem o substrato têxtil de forma superficial e com ligações fracas, liberando o corante quando o material entra em contato com uma força física ou com agentes oxidantes (RIBEIRO, 2010).

Existem também outros processos na customização de artigos jeans: como “stone wash”, “used”, sobretingimento, esmirilhamento, efeitos 3D, lixados, pincelados, laser, efeito emborrachado, dentre outros. Essas técnicas tem como propósito a modificação do aspecto visual do jeans, malhas e tecidos planos de forma localizada ou na totalidade da peça empregando processos mecânicos e/ou químico ou ainda a combinação de ambos (RIBEIRO, 2015).

2.4 EFLUENTE TÊXTIL

As características dos efluentes têxteis variam de acordo com o substrato têxtil processado, com os produtos químicos e com os maquinários utilizados nos processos de preparação, tingimento e acabamento do material.

Devido essas variações nas características desses efluentes, torna complexo o dimensionamento de um sistema de tratamento de efluentes, que remova além da cor os demais poluentes.

Além do mais os processos de beneficiamento e acabamento de substrato têxtil, consomem elevado volume de água por massa de material processado. Alguns autores como Souza et al. (2004) afirma que são gastos aproximadamente 50 litros de água por kg de material têxtil processado. Para Vandevivere, Bianchi e Verstraete (1998) o consumo de água para o processamento de artigos de algodão pode variar de 100 a 300 L.kg⁻¹ de substrato têxtil. Enquanto que Rosa, Tambourgi, Baptista e Santana (2011) afirmam que o consumo mundial médio anual de água na indústria têxtil é cerca de 130 bilhões de m³, e conseqüentemente faz desse setor um grande gerador de efluentes líquidos.

2.4.1 Impactos ambientais do efluente têxtil.

Alguns pesquisadores tais como Hassemer e Sens (2002), Beltrame *et al.* (2004) e Salem (2010) afirmam que a problemática ambiental do efluente têxtil é bastante conhecida devido a sua própria natureza visto que presença de corantes, mesmo em

concentrações baixas, é facilmente detectada e visível. Portanto, quando lançados nos corpos receptores hídricos, mesmo em baixas quantidades alteram a coloração natural dos rios, resultando em graves problemas estéticos, além da redução de processos fotossintéticos.

Para Gutiérrez *et al.* (2007) mesmo quando os corantes não são tóxicos ao ambiente, eles podem impedir que parte da luz solar penetre nos rios e chegue ao fundo, o que implicará na sobrevivência das espécies vegetais e animais que habitam a região, podendo provocar um desequilíbrio do sistema. Segundo Brito-Pelegrini e Pelegrini (2005) estudos realizados indicam que, aproximadamente 20% da cor introduzida no ambiente é causada pelo lançamento de águas residuais da indústria têxtil, a qual utiliza grandes quantidades de azos corantes, com tempo médio de vida na água em torno de 50 anos. Outro fator que demonstra o forte impacto ambiental desse efluente quando descartado inadequadamente, refere-se ao fato de que alguns corantes segundo Rosolen *et al.*, (2004), apresentam potencial carcinogênico ou mutagênico, além disso, atualmente a maioria dos corantes são de origem sintética e apresentam estrutura aromática, o que faz deles um produto estável e de difícil degradação

2.5 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS.

Devido às características dos corantes empregados, alguns com metais pesados em sua composição e estrutura aromática, da grande quantidade de compostos orgânicos recalcitrantes, de surfactantes e de auxiliares empregados nos processos de tingimento, é de suma relevância que esses efluentes sejam tratados, antes de serem descartados, a fim de minimizar os impactos gerados ao meio ambiente.

Vários são os métodos para o tratamento de efluentes, podendo ser classificados principalmente em físicos químicos e biológicos, bem como a combinação destas técnicas. A combinação destes para tratamento de um dado efluente depende dos objetivos que se quer atingir no tratamento (FERNANDES, 2010).

Em função das deficiências apresentadas pelos sistemas convencionais de tratamento, usualmente representados por processos biológicos e de coagulação

química, novas alternativas de tratamento, tem sido regularmente propostas (ZANELA, 2010).

Devido às deficiências apresentadas por sistemas convencionais de tratamento, que são usualmente representados processos biológicos e de coagulação química, a combinação de métodos mostra-se mais adequada para o tratamento de efluentes têxteis devido a presença de corantes que normalmente são resistentes a degradação nos sistemas convencionais de tratamento. Tem apresentado maior ênfase no contexto do reuso de efluentes têxteis o desenvolvimento de metodologias com associação de processos biológicos a outras alternativas físicas ou físico químicas tais como floculação adsorção ou oxidação eletroquímica (KUNZ et al., 2002; ZANELLA, 2010).

2.5.1 Processo biológico

A biodegradação tem se mostrado um método bastante promissor no tratamento de efluentes têxteis, entretanto não se mostra eficaz para os corantes sintéticos que por sua vez são em sua maioria xenobióticos ou seja os sistemas naturais de microorganismos em rios e lagos não contem enzimas específicas para degradação deste tipo de composto sob condições aeróbicas e sob condições anaeróbicas a degradação do corante se processo muito lentamente. Por outro lado a possibilidade do desenvolvimento de culturas de microorganismos mostra a capacidade de mineralização de alguns tipos de corantes selecionados (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Segundo Beltrame (2000) o processo biológico mais utilizado nas indústrias têxteis é de lodos ativados, que consiste na agitação dos efluentes na presença de microorganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular grande parte da matéria orgânica.

A combinação de sistemas biológicos anaeróbicos e aeróbios também é favorável, pois admite a efetiva descoloração do efluente principalmente os de decomposição branca em combinação com métodos biológicos e químicos também tem sido testados e se mostrados bastantes eficientes na descoloração de efluentes e corantes têxteis (KUNZ et al., 2002).

2.5.2 Processo físico químico

A coagulação e floculação são processos físico-químicos que tem sido amplamente utilizados no tratamento tanto de água potável, como de efluentes industriais. Para estes, o processo de tratamento pode ser aplicado tanto na etapa de tratamento primário, como na etapa de tratamento terciário do efluente (FURLAN, 2008).

O mecanismo de coagulação consiste na adição do coagulante no efluente, sob condições de forte agitação do meio. O efeito produzido pela adição desse coagulante sobre uma dispersão coloidal é a desestabilização das partículas por meio da redução das forças de repulsão eletrostática que as mantêm afastadas (FURLAN, 2008).

Fatores como, o tipo de coagulante empregado, as concentrações utilizadas, as velocidades de mistura e o tempo de floculação podem afetar a remoção de materiais orgânicos naturais presentes no efluente industrial têxtil (STAAKS et al., 2011). Sabendo-se que as partículas são eletricamente neutralizadas na etapa de coagulação, elas se aglomeram e formam flocos. O processo de crescimento e posterior deposição é conhecido como mecanismo de floculação. Dependendo da natureza do coagulante, a floculação pode acontecer diretamente sobre as partículas ou pela adição de alguma substância química. Tanto o mecanismo de coagulação quanto o de floculação são necessários para que haja uma eficiente remoção das partículas poluentes (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN; DÁVILA-ACEDO, 2010).

A floculação ocorre sempre em condição de fraca agitação e por um período de tempo maior que o da coagulação. É um processo em que as partículas coloidais são colocadas em contato permitindo o aumento do seu tamanho físico, alterando, desta forma, a sua distribuição granulométrica (FURLAN, 2008).

A Figura 4 apresenta, de forma esquemática, a desestabilização dos colóides em suspensão em águas poluídas, representados com cargas negativas, pelos polímeros catiônicos orgânicos, contendo cargas positivas.

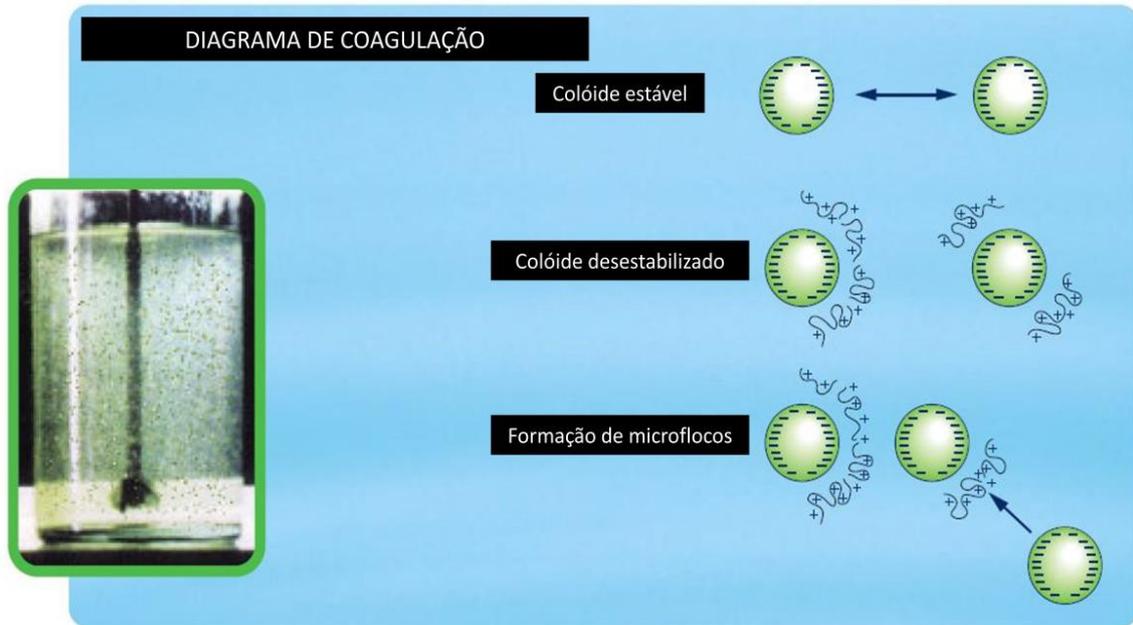


Figura 4 - Esquema da desestabilização dos colóides em suspensão em efluentes

Fonte: Mangrich et al (2014).

A Figura 5, apresenta de forma esquemática, a formação de flocos dos colóides desestabilizados.

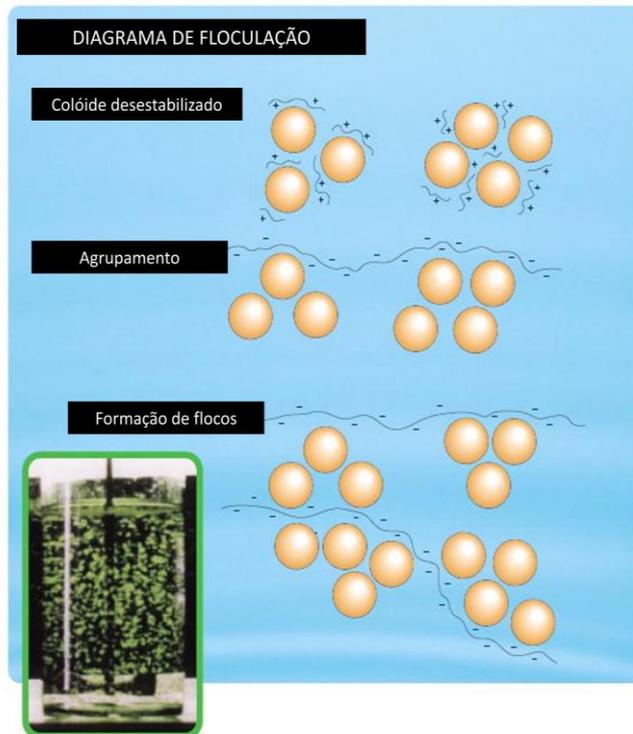


Figura 5 - Esquema floculação dos colóides desestabilizados.

Fonte: Mangrich et al (2014).

2.5.3 Sulfato de alumínio.

Segundo Silva, (1999) o sulfato de alumínio é provavelmente a substância química mais amplamente utilizada para coagulação dos suprimentos públicos de água, devido a excelente formação do floco, sua relativa economia e facilidade de manuseio. Contudo, apesar da ampla utilização do sulfato de alumínio, dependendo da dosagem é tóxico e pode provocar doenças de demência e coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais do sangue que é levado ao cérebro como o Alzheimer, mal de Parkinson e Síndrome de Down (SILVA, 1999).

2.5.4 Tanino

O tanino é um coagulante vegetal efetivo numa ampla faixa de pH, que elimina o uso de alcalinizantes (como hidróxido de sódio ou cal), não acrescenta metais ao processo e proporciona uma redução no volume de lodo a ser descartado. Ainda, devido a sua composição orgânica, pode ser biologicamente degradado ou eliminado termicamente (ÖZACAR e SENGIL, 2003). Alguns estudos de acordo com Mangrich, et al (2014), em planta piloto de tratamento de águas residuárias utilizando a Tanino como coagulante, por exemplo, mostraram redução de cor em até 50 %, remoção de surfactantes em até 75 %. Além disso o coagulante orgânico também se mostrou eficiente na remoção de corantes de águas como Violeta de Alizarina 3R, um corante de antraquinona, com remoção de 80 %, e “Palatine fast Black WAN” um corante azo, com remoção de 100 %. Esses resultados são de grande interesse para esse trabalho, visto que o Tanino será o coagulante orgânico a ser utilizado no trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho, bem como as metodologias experimentais empregadas.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Equipamentos

Na Tabela 1 estão apresentados os equipamentos utilizados na execução do trabalho.

Tabela 1 - Equipamentos utilizados no trabalho

Processo	Equipamento
Tratamento do efluente	Balança analítica Agitador mecânico . Mec Francis modelo CCR 100
Tingimento têxtil	Balança analítica Máquina de tingimento em caneca Kimak Tecido sarja PT 100 % algodão

Fonte: Autoria própria

3.1.2 Reagentes

Na Tabela 2 são apresentados os reagentes a serem utilizados em seus respectivos processos.

Tabela 2 - : Reagentes utilizados no trabalho

Processo	Reagente
Preparação do efluente	Solução tampão NaOH e H ₂ SO ₄
Tratamento do efluente	Sulfato de alumínio e Tanino
Tingimento têxtil	Sequestrante Corantes reativos (3 cores) Sal Barrilha
Ensaboamento	Detergente não iônico Agente deslizante
Amaciamento	Amaciante
Enxágüe	Água/Efluente tratado

Fonte: Autoria própria

Nesse trabalho serão apresentados apenas os equipamentos e reagentes a serem utilizados no tratamento do efluente e tingimento do substrato. Reagentes e equipamentos a serem utilizados na caracterização dos efluentes e ensaios de qualidade na amostra têxtil não serão apresentados visto que todos procedimentos dessas etapas seguirão as normas citadas em cada tópico.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Coleta do efluente

Para a realização desse trabalho foram utilizados os efluentes gerados pelos laboratórios de lavanderia e estamparia da UTFPR câmpus Apucarana PR. Esses laboratórios são utilizados somente para fins acadêmicos e as operações geradoras

de efluentes são: lavagem das telas para o laboratório de estamparia e de desengomagem, ensaboamento, lavagem, amaciamento, tingimento, estonagem de tecidos, clareamento do jeans, neutralização de permanganato e marmorizado para o laboratório de lavanderia.

As amostras foram coletadas no tanque de equalização da estação de tratamentos de efluentes da UTFPR Apucarana, que recebe os efluentes dos dois laboratórios. O Tanque de equalização é o local onde os efluentes são homogeneizados.

Foram coletados 50 litros de efluentes com frascos de polietileno de capacidade de 5 L e mantidos em refrigeração a 4°C.

3.2.2 Caracterização do efluente.

A caracterização do efluente permite identificar os pontos mais críticos e, conseqüentemente, a ação mais adequada e efetiva em seu tratamento. Com a finalidade de conhecer as propriedades e características do efluente, e principalmente comprovar a efetividade do tratamento aplicado, foram aferidos os parâmetros de pH, cor, turbidez, DQO e comprimento de onda de máxima absorvância para o efluente, antes e após o tratamento, conforme as metodologias descritas na Tabela 3:

Tabela 3 - Metodologias para caracterização físico-químicas dos efluentes

Parâmetros	Técnica analítica	Unidade	Aparelho
pH	Direto, Potenciométrico	-	pHmetro TEKNA T-1000
Máxima Absorbância	Espectrofotometria	-	Espectrofotômetro Agile Technologies, modelo Cary 60 UV-vis
DQO	Espectrofotometria em 600 nm	mgL ⁻¹	
Turbidez	Direto, Espectrofotometria	mg PtCo L ⁻¹	
Cor verdadeira	Direto, Espectrofotometria	FAU	

Fonte: APHA, 1998.

3.2.3 Determinação do Potencial de Hidrogênio (pH).

O pH refere-se ao grau de acidez ou basicidade da amostra. A determinação deste parâmetro foi realizado em um pHmetro digital TEKNA T-1000, de acordo com a metodologia especificada no manual do aparelho.

3.2.4 Determinação da Cor

A cor no efluente têxtil se deve a presença de corantes hidrolisados e de outros materiais dissolvidos e em suspensão. A determinação da cor do efluente têxtil foi realizado a partir da diferença de absorbâncias (leitura em espectrofotômetro Agile Technologies, modelo cary 60 UV –vis) do efluente bruto e do efluente tratado, sendo assim obteve-se um percentual de descoloração para cada amostra.

3.2.5 Determinação da Turbidez

A turbidez, de acordo com Von Sperling (1996), é caracterizada pela presença de sólidos em suspensão, decantáveis ou não, de natureza orgânica ou inorgânica.

A medida de turbidez foi realizado em um turbidímetro digital PoliControl AP2000, de acordo com a metodologia especificada pelo fabricante, aferida em escala NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

3.2.6 Determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A metodologia utilizada para determinação da DQO é baseada na descrita em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater micro método (APHA, 1998), com leitura em espectrofotômetro Agile Technologies, modelo Cary 60 UV-vis no comprimento de onda de 600 nm.

3.2.7 Determinação do Comprimento de Onda de Máxima Absorbância

Para a determinação do comprimento de onda de máxima absorbância do efluente utilizado nesse trabalho foi realizado uma varredura espectrofotométrica de cada amostra, para todo intervalo de comprimento de onda do espectro visível. Com base no comprimento de onda de máxima absorbância determinado, foi possível calcular o percentual de descoloração de cada amostra de efluente por meio da equação 1

Equação 1: Cálculo do percentual de descoloração do efluente tratado

$$\text{Descoloração (\%)} = \frac{[(ABS_i - ABS_f) * 100]}{ABS_i}$$

Onde:

ABS_i = Absorbância inicial do efluente bruto;

ABS_f = Absorbância do efluente tratado após o tratamento.

3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento de experimentos é uma ferramenta extremamente importante para engenheiros e cientistas que buscam melhorar o desempenho de um processo de fabricação ou então a otimização de experimentos em busca de uma resposta ótima (MONTGOMERY e RUNGER, 2012)

A seleção do tipo de planejamento experimental está relacionado com a variedade de interações entre os níveis das variáveis determinados no delineamento, e na minimização da quantidade de experimentos, sendo estes suficientes para assegurar, de forma estatisticamente significativa, as condições ótimas operacionais para que os processos venham a gerar melhores resultados (MANENTI, 2011).

De acordo com Ueda (2006), esquemas fatoriais envolvem a combinação entre os níveis de dois ou mais fatores, que são variáveis independentes que se pretendem estudar, enquanto os níveis são fixados de acordo com o interesse do pesquisador; se todas as combinações possíveis entre os níveis de cada fator estão presentes, o esquema fatorial é considerado completo.

As análises dos dados podem ser feita por *softwares*, como por exemplo: MINITAB, EXCEL e STATISTICA, que ajudam a usar técnicas de planejamento e análise de experimentos, bem como gráficos lineares e gráficos de probabilidade normal (WERKEMA e AGUIAR 1996).

Para a realização desse trabalho foi desenvolvido dois planejamentos experimentais, um para o tanino e outro para o sulfato de alumínio, ambos com variação do pH e da concentração de coagulante. Com o intuito de comparar os resultados posteriormente, esses planejamentos mantiveram a mesma faixa de variação do pH. Já a concentração foi estipulada para cada coagulante de acordo com pesquisas bibliográficas.

3.3.1- Roteiro de ensaios

Os planejamentos experimentais para o coagulante tanino e sulfato de alumínio foram realizados para duas variáveis independentes utilizando a metodologia do delineamento composto central rotacional (DCCR). De acordo com o método foi realizado um fatorial completo 2^n , com $n= 2$ (ph do efluente e concentração de coagulante), incluindo 4 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios. As condições de ensaio do ponto central foram determinadas a partir de pré-ensaios associados à pesquisa bibliográfica com valores reportados em bibliografia (GONÇALVES, 2015; MEZA, 2010). Os valores atribuídos para os níveis de cada fator são apresentados nos Quadros 1 e 2 para o coagulante tanino e sulfato de alumínio respectivamente.

<i>Coagulante Tanino tanfloc</i>					
Pâmetro	Níveis				
	-1.41	-1	0	1	1.41
pH	5.18	6	8	10	10.82
Coagulante (mg/L)	29.5	50	100	150	170.5

Quadro 1- Parâmetros e níveis avaliados pelo DCCR_T.

Fonte: Autoria própria

<i>Coagulante Sulfato de Alumínio</i>					
Pâmetro	Níveis				
	-1.41	-1	0	1	1.41
pH	5.18	6	8	10	10.82
Coagulante (mg/L)	177	300	600	900	1023

Quadro 2 - Parâmetros e níveis avaliados pelo DCCR_{SA}.

Fonte: Autoria própria

O Quadro 3 apresenta os valores codificados do $DCCR_T$ e os valores utilizados na dosagem de coagulante tanino e pH do efluente.

Ensaio	Valores codificados do $DCCR_t$		X1 pH do efluente	X2 Dosagem de tanino (mg.L ⁻¹)
	X1	X2		
1	-1	-1	6	50
2	-1	1	6	150
3	0	0	8	100
4	1	-1	10	150
5	1	1	10	150
6	0	0	8	100
7	-1.41	0	5.18	100
8	1.41	0	10.82	100
9	0	0	8	100
10	0	-1.41	8	5.18
11	0	1.41	8	170.5

Quadro 3 - Valores codificados do $DCCR_t$, utilizados na dosagem de tanino e pH efluente

Fonte: Autoria própria

O Quadro 4 apresenta os valores codificados do $DCCR_{SA}$ e os valores utilizados na dosagem de coagulante sulfato de alumínio e pH do efluente.

Ensaio	Valores codificados do $DCCR_{sa}$		X1 pH do efluente	X2 Dosagem de sulfato de alumínio (mg.L ⁻¹)
	X1	X2		
1	-1	-1	6	300
2	-1	1	6	900
3	0	0	8	600
4	1	-1	10	300
5	1	1	10	900
6	0	0	8	600
7	-1.41	0	5.18	600
8	1.41	0	10.82	600
9	0	0	8	600
10	0	-1.41	8	177
11	0	1.41	8	1023

Quadro 4 - Valores codificados do $DCCR_{sa}$, na dosagem de $Al_2(SO_4)_3$ e pH do efluente

Fonte: Autoria própria

3.4 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRATAMENTO DO EFLUENTE

Para a execução desses ensaios foi utilizado um agitador mecânico Mec Francis modelo CCR 100, para cada ensaio o pH foi ajustado e adicionado a quantidade de coagulante conforme o estipulado pelos planejamentos experimentais. Em todos os ensaios, após a adição do coagulante manteve-se o tempo de 30 segundos com velocidade a 1000 rpm para a mistura rápida, e 15 minutos com velocidade a 200rpm para a mistura lenta. A retirada das amostras para análises ocorreu após uma hora de repouso (decantação).

3.4.1 Análise do efluente tratado

Após o término dos ensaios foram realizadas análises físico-químicas: cor aparente, turbidez, DQO, SST. Com base no resultados obtidos das análises pré e pós tratamento, foi obtido o percentual de eficácia do tratamento aplicado.

3.5 OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO

Para chegar nos modelos com as condições otimizadas de cada tratamento, utilizou-se os resultados das análises anteriores para gerar as análises ANOVA, R^2 e superfície de resposta através do programa Statistica Versão 12.0..

Para verificar se o modelo é estatisticamente significativo foi utilizado o teste da razão F. Foi calculado o F (F_{cal}) e comparado com o valor tabelado (F_{tab}) pela tabela de limites unilaterais da distribuição F de Fisher-Snedecor ao nível de 5% de probabilidade. Quando $F_{cal} > F_{tab}$ indica que os efeitos principais ou de interação correspondentes no modelo são estatisticamente representativo (LEVIN, et al., 2012).

A utilização do alfa de 5% se deve ao fato que a técnica de tratamento por processo físico químico, possui fatores que podem ser muito bem controlados, como pH, concentração de

coagulante, tempo, velocidade entre outros, já em um tratamento biológico por exemplo, em que a decomposição da matéria orgânica por microorganismos não se tem o mesmo controle, pode-se trabalhar com um alfa de 15% sendo considerado aceitável (LEVIN, et al., 2012).

3.5.1 Tratamento físico químico do efluente com a condição otimizada

Após serem determinadas as condições otimizadas para cada coagulante, foram realizados testes em triplicada, nas condições otimizadas do tanino e do sulfato de alumínio, para gerar um maior volume de efluente tratado para posteriormente reutilizar em tingimento.

3.6 REALIZAÇÃO DO TINGIMENTO

Os ensaios de tingimentos, foram realizados em escala de bancada, utilizando amostra de tecido plano 100 % algodão, corantes reativos em 3 cores (clara, media e escura). Os tingimentos foram realizados em triplicata, com água destilada, efluente tratado na condição otimizada do tanino e do sulfato de alumínio, totalizando 27 amostras. O Quadro 5 mostra a receita dos produtos utilizados para a realização dos tingimentos.

Produtos	Nome comercial	Quantidade
Tecido PT 100% Algodão (250g/m ²)	-	0.01 m²
Corante Reativo	Amarelo Tricel NG-LAL	0.40%
	Azul Royal Tricel NG-LBR	
	Preto Tricel NG-LBR CO	
Sal	-	20 g/L
Barrilha	-	6 g/L
Detergente	Goldpal HQL	0.5g/L
Dispersante	Goldquest NS	1 g/L
Água/Efluente Tratado	-	RB: 1:30

Quadro 5 - Receita de tingimento utilizado no trabalho

Fonte: Aatoria própria

3.7 AVALIAÇÃO DAS AMOSTRAS SUBMETIDAS AO TINGIMENTO.

As amostras de tecidos tintas, foram avaliadas em cabine luz Mathis modelo LBM em iluminação D65 de acordo com a norma ABNT NBR ISO 105-A01:2011, comparando as amostras tintas com água, com as amostras tintas com o efluente tratado com cada coagulante.

3.7.1 Ensaio de Variação de Cor e Manchamento

Para analisar a qualidade do substrato tinto, foi realizado a comparação da amostra padrão (tingimento com água), com as demais amostras tingidas utilizando o efluente tratado. Esse ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR ISO 105-A01:2011 com iluminantes padrão (luz do dia D65).

3.8 ETAPAS REALIZADAS NA EXECUCAO DO TRABALHO.

A Figura 6 apresenta o fluxograma de todas as etapas da parte experimental realizadas desse trabalho.

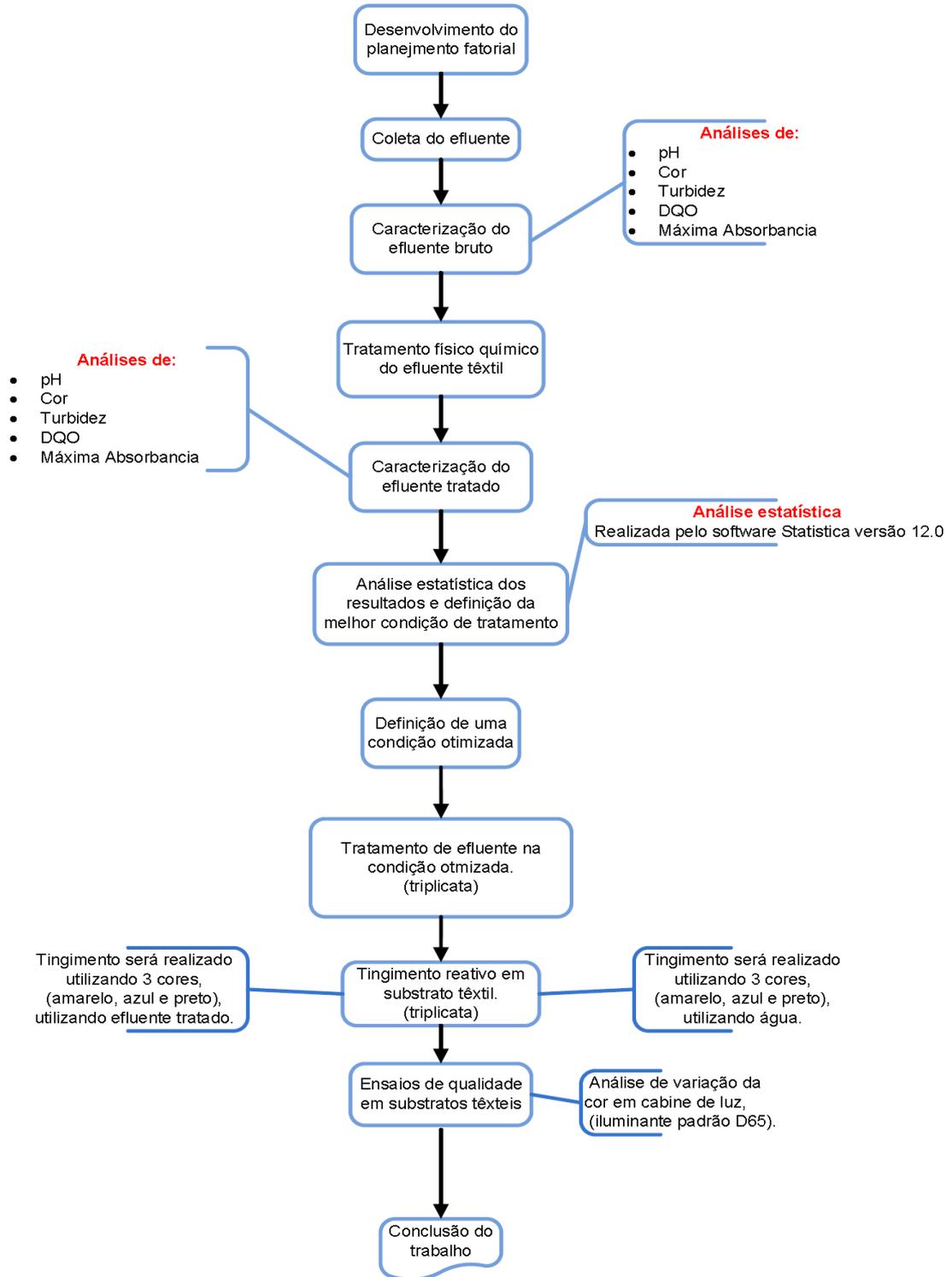


Figura 6 - Fluxograma das etapas realizadas na parte experimental do trabalho

Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

Na Tabela 4 são apresentados os valores referentes a caracterização físico química do efluente bruto.

Tabela 4- Caracterização físico -químicas do efluente.

Parâmetros	
pH	9.8433
Abs _(Max) (nm)	1.105
DQO (mg/L)	476
Turbidez (UNT)	169
Sólidos Totais (mg/L)	914.04

Fonte: Autoria própria

Por meio da caracterização pode-se observar que todos os parâmetros avaliados, não estão adequados aos limites de descarte estabelecidos pela. Legislação atualmente. Tendo em vista que a finalidade nesse trabalho é o tratamento do efluente para reutilização em processos de tingimentos de substrato têxtil, temos que alta coloração constatado visualmente e através do valor de máxima absorvância, é de fundamental importância que seja adequada ao processo posterior de tingimento.

Dessa forma, é necessária a adequação da cor efluente através de um tratamento eficiente, uma vez que a alta coloração, implicará diretamente na qualidade do tingimento realizado com o efluente tratado.

Quanto à turbidez, esta é causada pelos sólidos suspensos e sólidos dissolvidos provenientes principalmente do processo de estonagem, que utiliza pedras de argila, chamadas sinasitas na lavagem de artigos de jeans, liberando resíduos do artigo e minerais das pedras (RIBEIRO, 2010). O valor apresentado de turbidez é elevado para a realização de tingimento podendo influenciar na qualidade do substrato tinto, sendo assim é importante que o tratamento reduza esse parâmetro.

Os valores obtidos para DQO também não atendem aos parâmetros determinados para o lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos do Instituto Ambiental do Paraná (IAP). O valor elevado desse parâmetro sugere a necessidade de tratamentos prévios para adequação do efluente ao descarte.

Por meio da análise do efluente bruto no espectrofotômetro Agile Technologies, modelo Cary 60 UV-vis foi determinado o comprimento de onda de máxima absorção na região de luz visível, como apresentado na Figura 7.

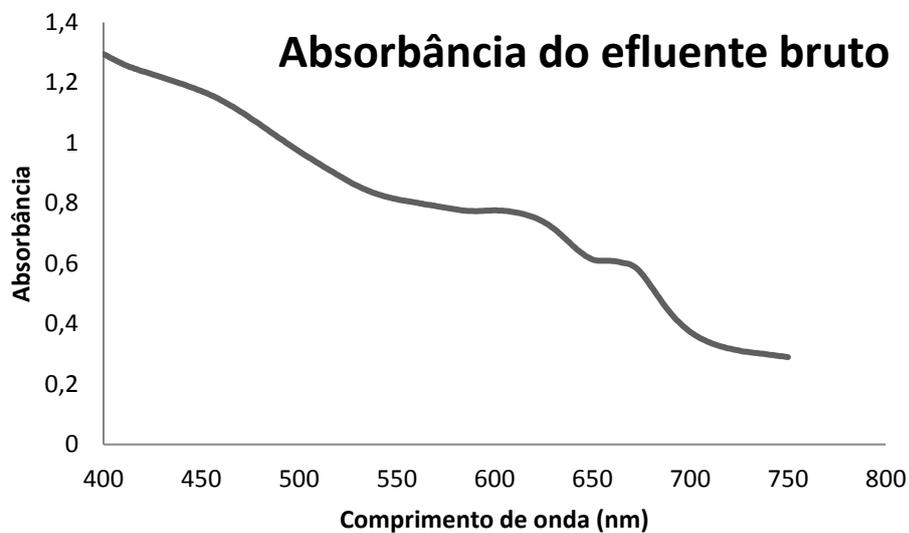


Figura 7- Espectro de absorção do efluente bruto na região de luz visível.

Fonte: A autoria própria

A cor na amostra apresentou coloração escura e mal definida, isso pode ser explicado pela mistura de todas as correntes de efluentes contendo vários processos de lavanderia e estamparia realizados em aulas nos laboratórios, sendo todas as cores misturadas em um tanque de equalização.

4.2 TRATAMENTO DO EFLUENTE COM COAGULANTE TANINO

Após a realização dos 11 ensaios do planejamento experimental, os resultados obtidos para redução da coloração, de DQO, turbidez e sólidos totais estão apresentados na Tabela 6. Os resultados apresentam variações na redução na coloração entre 60.81 e 82.24%, 38.61 e 49.41% na DQO, 91.95 a 98.17% na turbidez e 81.62 a 92.0% nos sólidos totais.

Tabela 5 – Parâmetros e resultados para reduções em % de coloração, DQO, turbidez e SST.

Ensaio	pH	[coagulante] mg/L	% Cor	%DQO	%Turbidez	% Sólidos
1	6	50	77.83	43.14	96.33	86.00
2	6	150	82.24	41.10	96.39	92.00
3	8	100	72.74	48.52	97.57	89.00
4	10	50	60.81	49.41	91.95	67.00
5	10	150	65.72	47.00	96.80	85.00
6	8	100	73.62	48.62	97.69	88.00
7	5.18	100	79.27	38.61	97.93	90.00
8	10.82	100	61.02	45.00	95.09	81.62
9	8	100	71.99	48.64	97.57	89.00
10	8	29.5	76.72	42.21	94.50	82.00
11	8	170.5	79.77	38.61	98.17	88.00

Fonte: Autoria própria.

Observando os resultados da Tabela 6, o ensaio que apresentou melhores resultados para cada variável resposta foram: descoloração ensaio 2, remoção DQO ensaio 4, remoção de turbidez ensaio 11 e remoção de sólidos ensaio 2. Sendo assim o ensaio 2 apresenta as condições mais interessantes para o reuso, visto que nas condições desse ensaio promoveu a maior descoloração do efluente.

4.2.1 Avaliação das respostas analíticas: descoloração, DQO, turbidez e sólidos para o Tanino.

Foram obtidos resultados para 4 as variáveis respostas avaliadas (Cor, DQO, Turbidez e Sólidos Totais), contudo como a proposta desse trabalho visa a reutilização do efluente tratado, a ênfase na apresentação dos resultados se dará apenas para a

resposta de cor. Essa escolha se deve ao fato de que um dos principais requisitos da água em processos de beneficiamento de substrato têxtil, (no caso deste trabalho tingimento), é a ausência de cor, pois pode interferir diretamente no resultado do tingimento (SALEM, DE MARCHI e MENEZES, 2005).

Para as demais respostas encontradas (DQO, Turbidez e SST) apenas serão apresentados os modelos de respostas obtidos.

A análise estatística utilizando a técnica de DCCR mostrou que, a um nível de confiança de 95%, ($p < 0.05$), foi significativo apenas o termo linear correspondente ao pH, o que mostra que o processo é fortemente influenciado pelo pH do efluente bruto, sendo esta interação negativa como mostrado na Tabela 7. Assim sendo, quanto menor o pH (considerando a faixa de pH utilizada no DCCR), maior será a remoção de cor. Neste trabalho foram descritos os coeficientes do modelo de regressão a partir da matriz codificada. Os termos lineares estão associados a letra (L) e os termos quadráticos com a letra (Q).

Tabela 6 - Valores do ajuste linear e da interação entre os parâmetros estudados para redução de cor.

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro Padrão	t(5)	p-valor
Média	72.79346	1.283245	56.72607	0.000000
X1 pH (L)	-7.43117	0.787005	-9.44234	0.000225
X1 pH (Q)	-1.97431	0.939102	-2.10234	0.089487
X2 tanino (L)	1.70764	0.787005	2.16980	0.082164
X2 pH (Q)	2.09993	0.939102	2.23610	0.075584

Fonte: Autoria própria.

O modelo parametrizado para a resposta de remoção de cor é representado pela equação 2:

$$R_{COR\ Tan} = 72.7935 - 7.43117.X1 - 1.97431.(X1)^2 + 1.70764.X2 + 2.09993.(X2)^2$$

X1 - pH do efluente bruto

X2 – Concentração de Tanino (mg.L^{-1})

Obs: Valores codificados do DCCR

Na Figura 8 são apresentados os valores preditos e observados para a redução da cor. O modelo gerado apresenta um $R^2 = 0.95542$, mostrando que o modelo apresentou um bom ajuste dos dados experimentais.

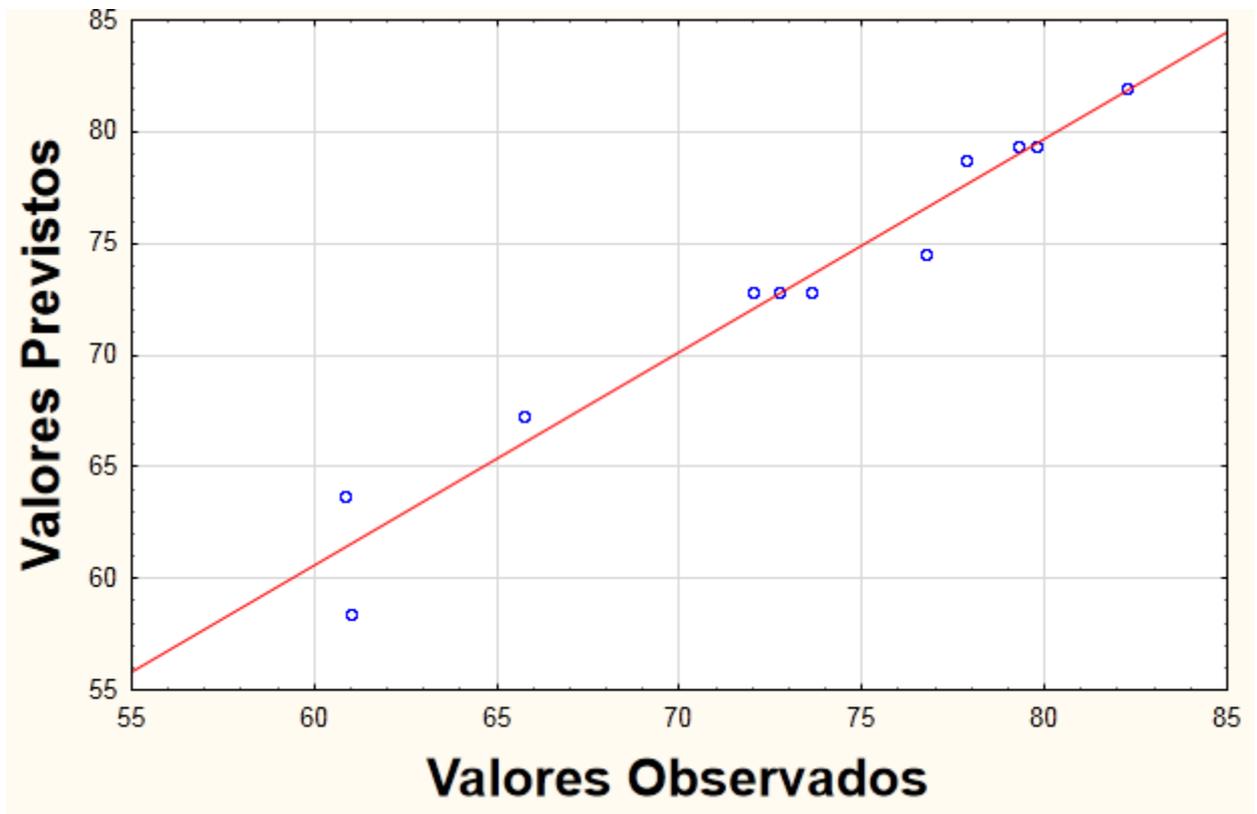


Figura 8 - Valores observados e previstos pelo modelo estatístico para o Tanino

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 - ANOVA para a resposta de descoloração para o modelo parametrizado

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F - calculado	p - valor
(1) pH (L)	440.4640	1	440.4640	34.87534	0.000228
Erro	113.6670	9	12.6297		
Total	554.1311	10			

Fonte: Autoria própria.

Para determinar se o modelo era significativo ou não, para gerar uma superfície de resposta, realizou um teste de hipóteses, utilizando O F_{tab} obtido através da tabela de limites unilaterais da distribuição F de Fisher-Snedecor ao nível de 5% de probabilidade, onde na variável 1 foi utilizado o valor do grau de liberdade da regressão e na variável 2 o

valor do grau de liberdade dos resíduos, o que resultou em um $F_{\text{tab}} = F_{1;9;0,05} = 5.12$. Como o F_{cal} foi de 34.87534 (tabela 24) o “Teste F” para regressão atende a prerrogativa de $F_{\text{cal}} > F_{\text{tab}}$, indicando que o modelo é representativo.

Sendo assim foi possível gerar uma superfície de resposta Figura 9 para o modelo de descoloração, Analisando em conjunto os resultados da Regressão e da Superfícies de resposta, é possível observar com maior clareza a influência que os parâmetros exercem na resposta analítica.

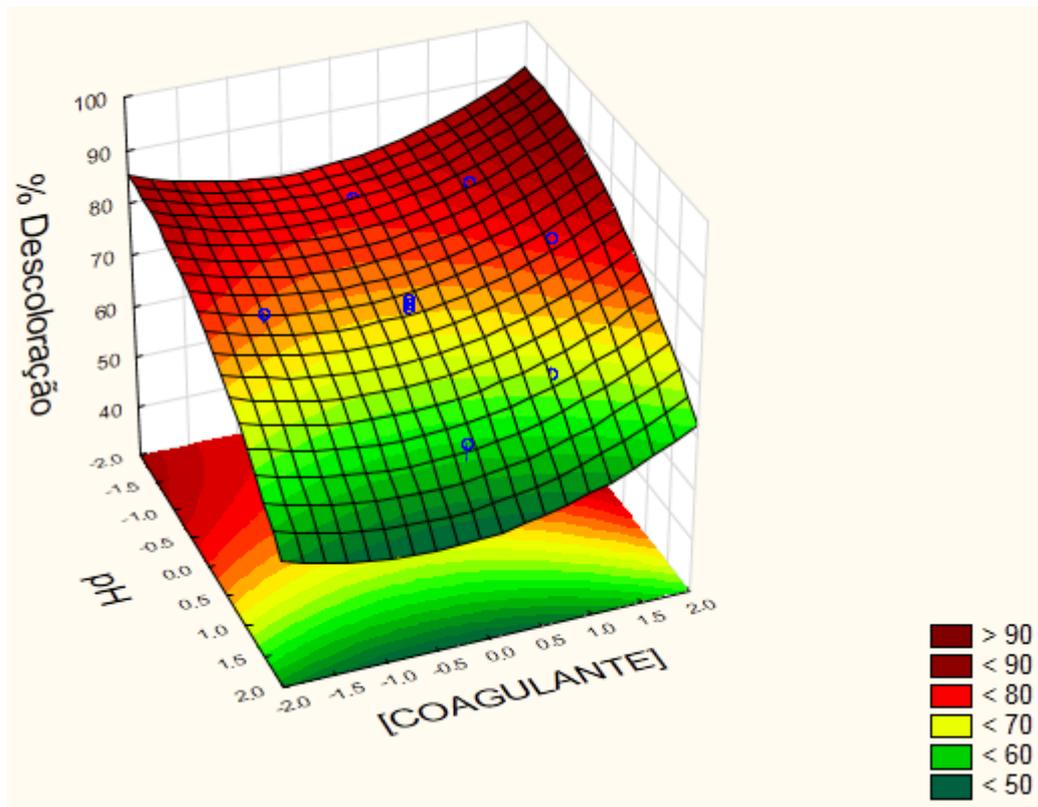


Figura 9 – Superfície de Resposta da remoção de cor no tratamento com o Tanino

Fonte: Autoria própria.

A Figura 10 apresenta a curva de contorno referente a superfície de resposta de descoloração do efluente tratado com o coagulante tanino.

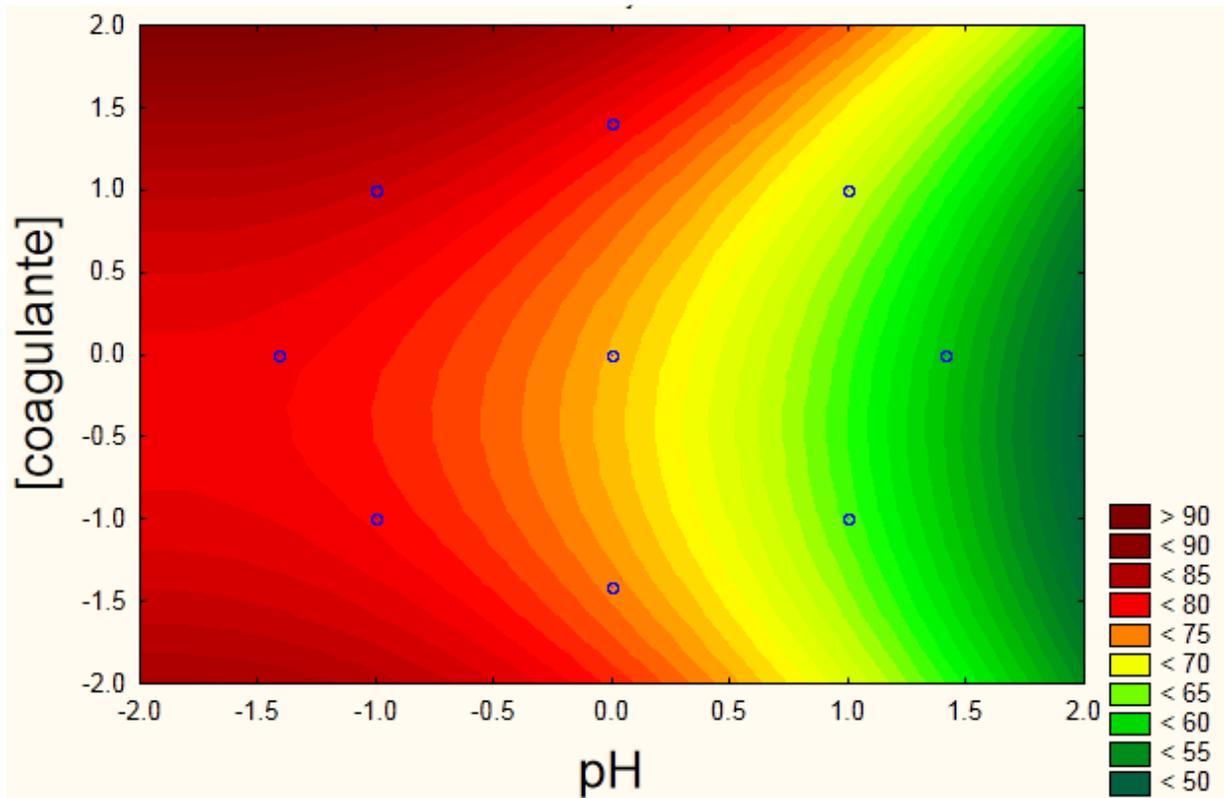


Figura 10 – Curva de contorno da remoção de cor no tratamento com Tanino.

Fonte: Autoria própria.

Com base nos resultados das outras variáveis respostas (DQO, Turbidez e SST), foram obtidos os modelos para cada resposta (R_{DQOt} , R_{TURBt} , R_{SSTt}), que apresentam um bom ajuste dos valores previstos e observados com os respectivos coeficientes de determinação ($R^2 = 0,7944$; $0,9378$ e $0,8581$), o que mostra que os modelos mostraram-se aceitáveis para avaliação dos parâmetros, e encontram-se descritos nas equações 3, 4 e 5 respectivamente.

Equação 3: Modelo da resposta de remoção da DQO para o Tanino

$$R_{DQO T} = 48.57707 + 2.65539.X1 - 2.37526.(X1)^2 - 1.1943.X2 - 3.07693.(X2)^2$$

Equação 4: Modelo da resposta de remoção da Turbidez para o Tanino

$$R_{TURB Tan} = 97.61755 - 0.99913.X1 - 0.81999.(X1)^2 + 1.26426.X2 - 0.90928.(X2)^2$$

Equação 5: Modelo da resposta de remoção de sólidos suspensos totais para o Tanino

$$R_{SST Tan} = 88.6768 - 4.8506.X1 - 2.2845.(X1)^2 + 4.0698.X2 - 2.5360.(X2)^2$$

Onde:

X1 - pH do efluente bruto

X2 – Concentração de Tanino (mg.L⁻¹)

Obs: Valores codificados do DCCR

4.3 TRATAMENTO DO EFLUENTE COM COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO

Após a realização dos 11 ensaios do planejamento experimental, os resultados obtidos para redução da coloração, de DQO, turbidez e sólidos totais estão apresentados na Tabela 6. Os resultados apresentam variações na redução na coloração entre 60.81 e 82.24%, 23.10 e 72.04 na DQO, 65.92 a 97.81% na turbidez e 41.00 a 89.030% nos sólidos totais.

Tabela 8- Parâmetros e resultados de reduções em % de coloração, DQO turbidez e SST para o sulfato de alumínio.

Ensaio	pH	[coagulante] mg/L	% remoção de cor	%DQO	%Turbidez	% Sólidos
1	6	300	61.02	23.10	78.99	41.00
2	6	900	65.72	31.20	82.31	48.57
3	8	600	73.62	49.60	92.72	67.50
4	10	300	79.67	49.65	96.80	67.50
5	10	900	82.24	71.30	97.81	89.03
6	8	600	72.74	50.20	91.18	68.02
7	5.18	600	76.72	25.60	73.20	43.42
8	10.82	600	79.77	72.04	96.92	88.84
9	8	600	71.99	51.00	87.93	68.74
10	8	177	60.81	29.50	65.92	47.27
11	8	1023	77.83	26.30	77.93	44.10

Fonte: Autoria própria.

Observando os resultados da Tabela 8, o ensaio que apresentou melhores resultados para cada variável resposta foram: descoloração ensaio 5, remoção DQO ensaio 8, remoção de turbidez ensaio 5 e remoção de sólidos ensaio 5.

4.3.1 Avaliação das respostas analíticas: descoloração, DQO, turbidez e SST para o Sulfato de alumínio.

Foram obtidos resultados para 4 as variáveis respostas avaliadas (Cor, DQO, Turbidez e Sólidos Totais), contudo como a proposta desse trabalho visa a reutilização do efluente tratado, a ênfase na apresentação dos resultados se dará apenas para a resposta de cor. Essa escolha se deve ao fato de que um dos principais requisitos da água em processos de beneficiamento de substrato têxtil, (no caso deste trabalho tingimento), é a ausência de cor, pois pode interferir diretamente no resultado do tingimento (SALEM, DE MARCHI e MENEZES, 2005).

Para as demais respostas apenas serão apresentados os modelos de respostas obtidos.

A análise estatística utilizando a técnica de DCCR mostrou que, a um nível de confiança de 95%, ($p < 0.05$), nenhum dos fatores avaliados foi significativo, contudo como o p-valor referente ao linear do pH, esta ligeiramente acima do limite (0.056825), consideramos que esse parâmetro é o mais significativo para esse processo. Nessas condições temos uma interação positiva como mostrado na Tabela 7. Assim sendo, quanto maior o pH (considerando a faixa de pH utilizada no DCCR), maior será a remoção de cor. Neste trabalho foram descritos os coeficientes do modelo de regressão a partir da matriz codificada. Os termos lineares estão associados a letra (L) e os termos quadráticos com a letra (Q).

Tabela 9- Valores do ajuste linear e da interação entre os parâmetros estudados para redução de cor.

Fatores	Efeito	Erro Padrão	t(5)	p-valor
Média	68.0671	3.712320	18.33545	0.000009
X1 tanino (L)	32.8518	4.553478	7.21467	0.000798
X1 tanino (Q)	0.9129	5.433484	0.16801	0.873160
X2 pH (L)	6.1766	4.553478	1.35646	0.232987
X2 pH (Q)	-19.6544	5.433484	-3.61728	0.015263
X1 x X2	6.9816	6.430004	1.08579	0.327124

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 - Coeficientes de regressão da resposta de remoção de cor no tratamento com sulfato de alumínio

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro Padrão	t(5)	p-valor
Média	72.78978	2.711622	25.25960	0.000000
X1 pH (L)	16.42591	2.283437	7.19350	0.000093
X2 Sulfato de Alumínio (Q)	-9.96022	2.606509	-3.82129	0.005080

Fonte: Autoria própria.

O modelo parametrizado para a resposta de remoção de cor é representado pela equação 6:

Equação 6: Modelo da resposta de remoção de cor para o Sulfato de alumínio.

$$R_{CORSA} = 72.78978 + 16.42591.X1 - 9.96022.(X2)^2$$

Onde:

X1 - pH do efluente bruto

X2 – Concentração de Sulfato de alumínio (mg.L⁻¹)**Obs:** Valores codificados do DCCR

Na Figura 11 são apresentados os valores preditos e observados para a redução da cor. O modelo gerado apresenta um $R^2 = 0.71285$, mostrando que o modelo apresentou um ajuste não muito preciso, dos dados experimentais.

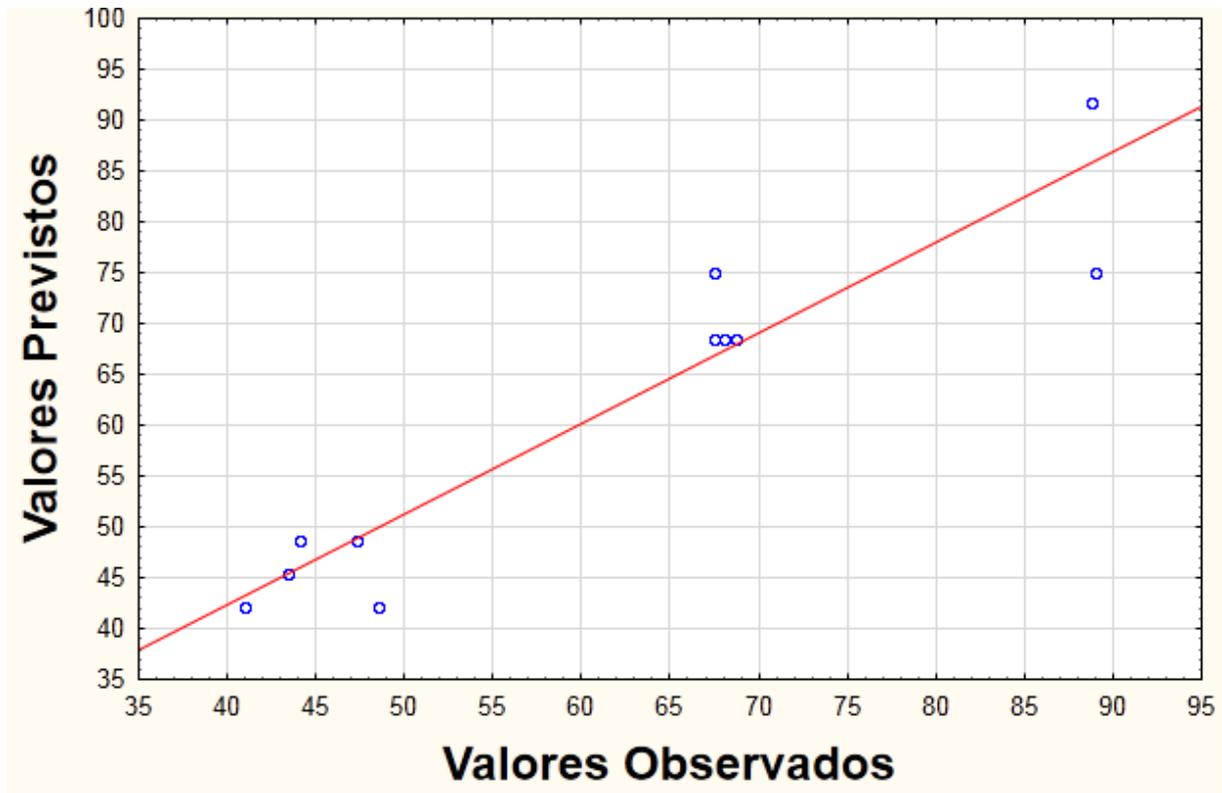


Figura 11 - Valores observados e previstos do modelo estatístico para o $Al_2(SO_4)_3$

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 - ANOVA para a resposta de descoloração para o modelo parametrizado

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F - calculado	p - valor
(1) pH (L)	2152.063	1	2152.063	51.74650	0.000093
[coagulante] (Q)	607.286	1	607.286	14.60222	0.005080
Erro	332.709	8	41.589		
Total	3092.058	10			

Fonte: Autoria própria.

Para determinar se o modelo era significativo ou não, para gerar uma superfície de resposta, realizou um teste de hipóteses, utilizando O F_{tab} obtido através da tabela de limites unilaterais da distribuição F de Fisher-Snedecor ao nível de 5% de probabilidade, onde na variável 1 foi utilizado o valor do grau de liberdade da regressão e na variável 2 o

valor do grau de liberdade dos resíduos, o que resultou em um $F_{\text{tab}} = F_{1;9;0,05} = 5.12$. Como o F_{cal} foi de 34.87534 (tabela 11) o “Teste F” para regressão atende a prerrogativa de $F_{\text{cal}} > F_{\text{tab}}$, indicando que o modelo é representativo.

Sendo assim foi possível gerar uma superfície de resposta Figura 12 para o modelo de descoloração, Analisando em conjunto os resultados da Regressão e da Superfícies de resposta, é possível observar com maior clareza a influência que os parâmetros exercem na resposta analítica.

Como pode-se observar os melhores resultados com relação a descoloração do efluente ocorre na faixa central de coagulante e em um pH mais alcalino, em torno de pH 10 e concentração de 900mg/L.

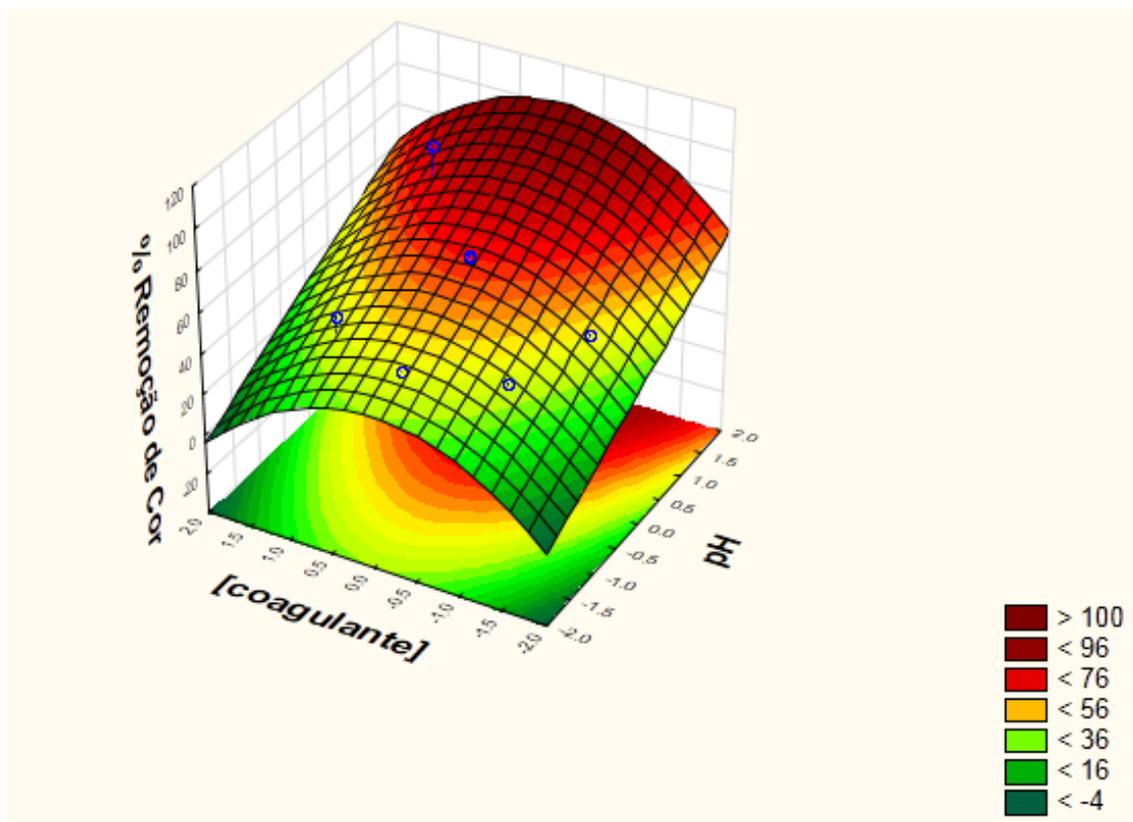


Figura 12 – Superfície de resposta da remoção de cor com o sulfato de alumínio

Fonte: Autoria própria.

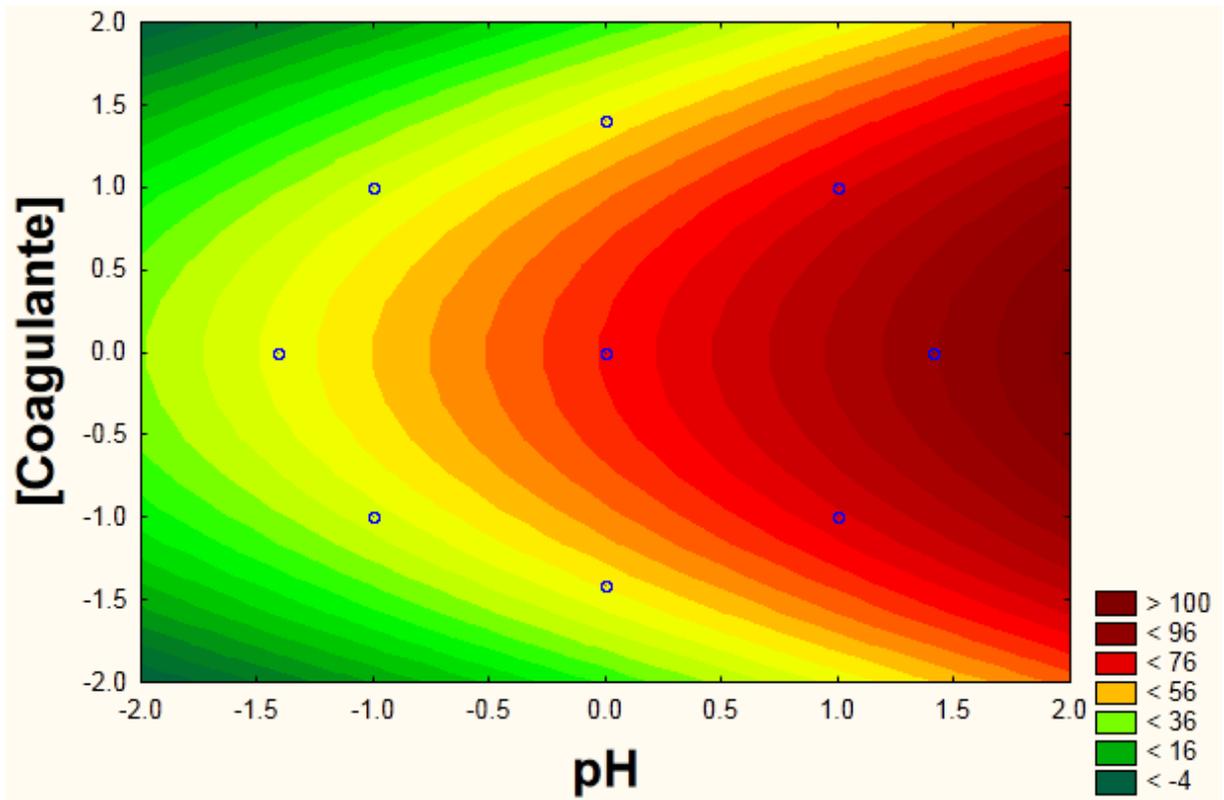


Figura 13 – Curva de contorno da remoção de cor com o sulfato de alumínio

Fonte: Autoria própria.

Com base nos resultados das outras variáveis respostas (DQO, Turbidez e SST), foram obtidos os modelos para cada resposta (R_{DQO} , R_{TURB} , R_{SST}), que apresentam um bom ajuste dos valores previstos e observados com os respectivos coeficientes de determinação ($R^2 = 0,93376$; $0,77824$ e $0,93314$). Os modelos mostraram-se aceitáveis para avaliação dos parâmetros, e encontram-se descritos nas equações abaixo.

$$R_{DQO SA} = 50.24579 + 16.56633.X1 + 0.67349.(X1)^2 + 3.16406.X2 - 9.8501.(X2)^2$$

$$R_{TURB SA} = 90.56955 + 08.37113.X1 - 0.11581.(X1)^2 + 2.66495.X2 - 6.72317.(X2)^2$$

$$R_{SST SA} = 68.06707 - 16.42591.X1 + 0.45644.(X1)^2 + 3.08829.X2 - 9.82722.(X2)^2$$

Em que:

X1 - pH do efluente bruto

X2 – Concentração de Sulfato de Alumínio (mg.L^{-1})

Obs: Valores codificados do DCCR

Cabe lembrar que o modelo pode ser utilizado para interpolações, e nunca extrapolações, isto é, os modelos fornecem uma boa estimativa das respostas na região estudada.

Após terem sido determinadas as condições otimizadas para cada coagulante, realizou-se novamente o tratamento na melhor condição definida para remoção de cor, o resultado das amostras tratadas comparada com água destilada é visualizada na Figura 14. Na amostra A tem-se o efluente tratado com o sulfato de alumínio, já na amostra B, tem-se o efluente tratado com Tanino, e por ultimo a amostra C água destilada.

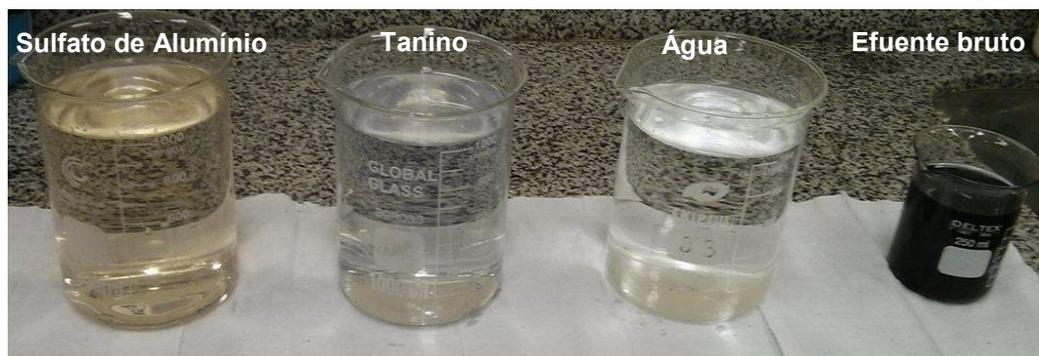


Figura 14 – Comparativo visual da água, efluente bruto e tratado.

Fonte: Autoria própria.

4.4 RESULTADOS DOS TINGIMENTOS

Na Figura 15 temos todas as amostras de tecidos tingidos nesse trabalho. Na primeira coluna tem-se a amostra padrão, que foi os tingimentos realizados com água, na coluna do meio tem-se as análises Tan que consiste nos tingimentos realizados com o efluente tratado na melhor condição com o coagulante tanino, e por último na coluna

da esquerda tem-se as análise SA, que foram os tingimentos realizados com efluente tratado na melhor condição com o coagulante Sulfato de alumínio.

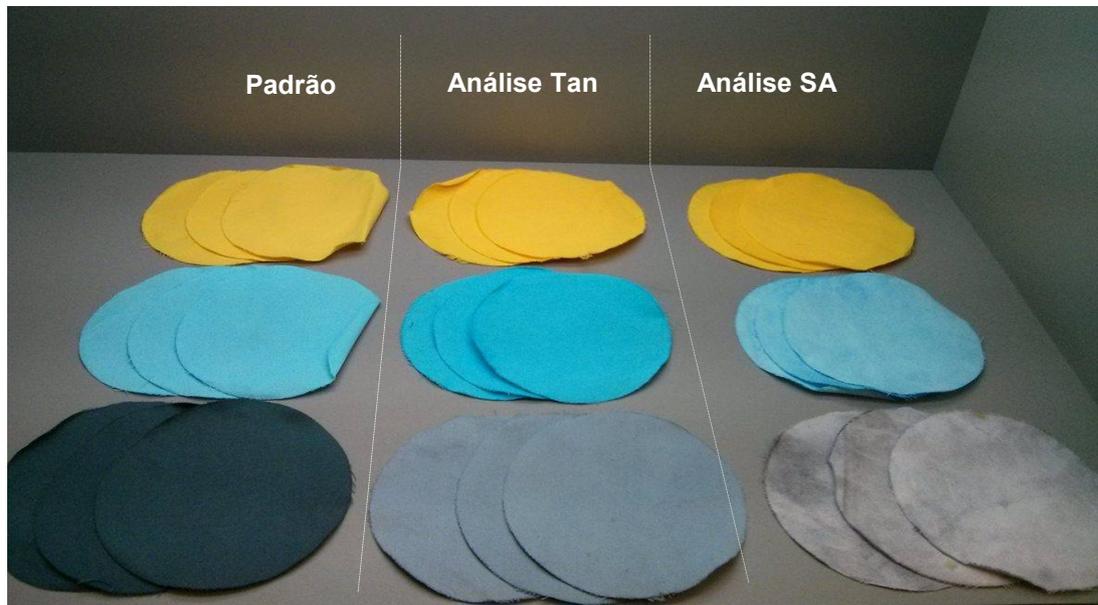


Figura 15 – Comparativo das amostras tingidas (amarelo, azul e preto)

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 16 tem-se o comparativo entre as amostras de substrato têxtil tingidas com corante reativo na cor amarela, da esquerda para direita temos o tingimento realizado com água, no centro tingimento reutilizando efluente tratado Tanino e na direita com efluente tratado utilizando o sulfato de alumínio.



Figura 16 – Comparação das amostras tingidas na cor amarela.

Fonte: Autoria própria.

Nesta imagem, percebe-se que a utilização do efluente tratado no tingimento com corante reativo amarelo em tecido algodão, apresentou poucas diferenças visualmente, apresentando uma maior intensidade colorística nas amostras tintas com o efluente tratado com o coagulante tanino. Contudo essa mesma amostra apresentou leve problemas em termos de desigualização, ao passo que as amostra padrão e a tingida com efluente tratado com sulfato de alumínio não apresentaram para esta cor.

Já na Figura 17, novamente tem-se uma maior intensidade colorística na amostra tingida com efluente tratado com coagulante tanino, nessas amostras não foram visualizadas sinais de desigualização, contudo esses sinais se tornaram bem mais evidentes nas amostras tintas com o sulfato de alumínio



Figura 17 – Comparação das amostras tingidas na cor azul.

Fonte: Autoria própria.

Dentre as cores utilizadas para o tingimento, a cor preta foi a que maior apresentou discrepância entre as colorações das amostras tingidas, como pode ser visto na Figura 18. Para essa coloração foi a amostra padrão que apresentou maior intensidade colorística, ao contrário do resultado obtido para as outras duas cores anteriores. Novamente o tingimento realizado com sulfato de alumínio apresentou a maior desigualização e também a menor migração de corante do banho para a fibra.

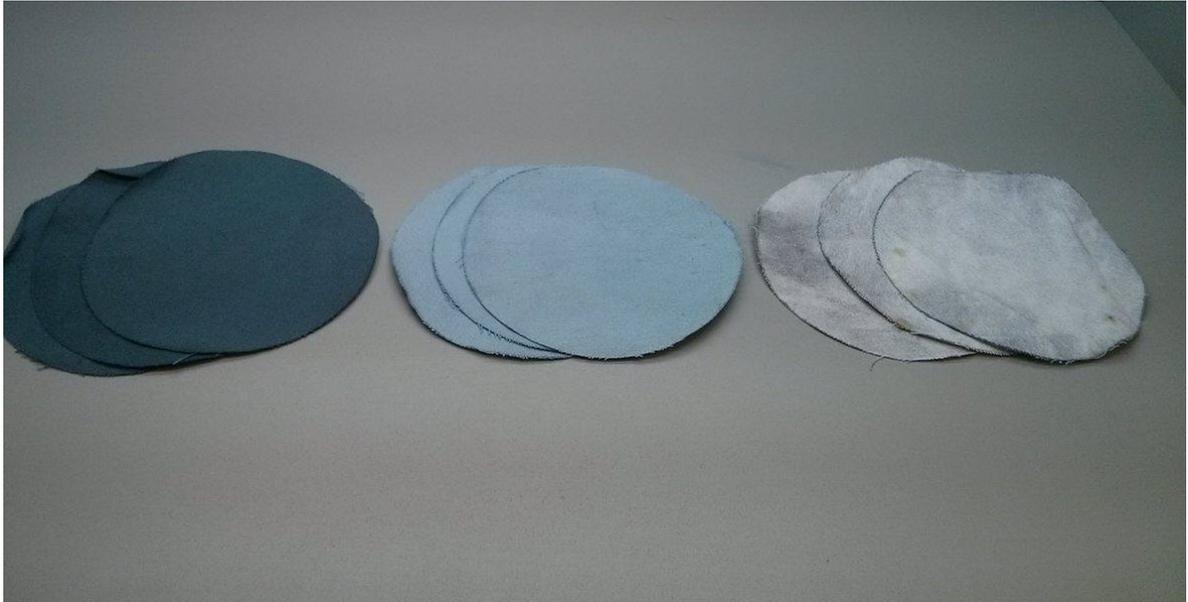


Figura 18 – Comparação das amostras tingidas na cor preta.

Fonte: Autoria própria.

4.5 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Aliado ao planejamento fatorial, os tratamentos estatísticos realizados forneceram informações sobre a significância de cada uma das variáveis experimentais, isoladas ou combinadas, permitindo assim analisar a influência de cada uma delas nas respostas analíticas, bem como os níveis ajustados nos experimentos. O objetivo desta análise foi selecionar as variáveis significantes na resposta de interesse, e observar em qual dos níveis a mesma forneceria a resposta máxima, a fim de reproduzir o ensaio nas condições destes níveis, otimizando o tratamento.

As respostas obtidas para o tratamento do efluente com tanino foram condizentes com outros trabalhos na literatura, como mostra o trabalho de Gonçalves (2015); que também utiliza efluente de lavanderia tendo o tanino como coagulante em processo físico químico. Nesse contexto como apresenta a superfície de resposta de descoloração no tratamento com o tanino (vide Figura 9)

O valor observado nas melhores eficiências de remoção das respostas cor, turbidez, DQO e SST para a variável pH do presente estudo está de acordo com

estudos de Martinez (1996); Martinez et al., (1997) e com as orientações do fabricante do coagulante que o tanino é mais efetivo na faixa de pH de 4,5 a 8,0. Em termos de concentração de coagulante tem-se que essa pesquisa obteve resultados semelhantes ao trabalho de Gonçalves 2015. Outros pesquisadores Junior et al. (2013) apresentou melhores resultados de remoção das mesmas respostas avaliadas, contudo trabalhando com maiores concentrações de coagulante.

Para as respostas obtidas com o tratamento tendo o sulfato de alumínio como coagulante, os resultados obtidos não foram bem expressivos, contudo como mostra a superfície de resposta de descoloração para esse coagulante, tem-se que quanto maior o pH maior a eficácia do tratamento, como mostra pesquisas de Andrade (2003). Resultados melhores foram obtidos no trabalho de Meza (2010), entretanto utilizaram maiores concentrações do coagulante do que o utilizado no presente trabalho.

Com relação a comparação entre os tingimentos realizados com água (Padrão), e efluente tratado com tanino (Análise tan) e com sulfato de alumínio (Análise SA), foi verificado que a maior discrepância entre as cores se deu no tingimento realizado com efluente tratado com sulfato de alumínio, isso se deve provavelmente ao fato que o sulfato de alumínio consome a alcalinidade do efluente durante o tratamento, o que é comprovado outros trabalhos na literatura.

Com isso tem-se que o pH final do tratamento se torna levemente ácido. Levando em consideração que após o tratamento não foi ajustado o pH do efluente tratado, o tingimento utilizando esse efluente estava levemente ácido, e como tingimento de algodão com corante reativo deve ser realizado em meio alcalino, apesar dos produtos auxiliares utilizados, provavelmente o pH não chegou no valor adequado ao fim do tingimento, gerando assim uma amostra bem diferente da amostra padrão. No caso do processo reutilizando efluente tratado com coagulante tanino, obteve-se resultados interessantes com uma baixa desigualização entre as amostras. Embora as melhores condições do tratamento com o tanino se deram em condições de pH levemente ácidos, com a adição dos demais produtos auxiliares do processo de tingimento, obteve-se um melhor resultado das amostras tintas no final.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

As eficiências máximas utilizando o tanino foram obtidas com as seguintes configurações: para a cor, concentração de tanino de 150 mg.L^{-1} e pH 6,0. No caso do tratamento utilizando o sulfato de alumínio foram obtidas com as seguintes configurações: para a cor, concentração de tanino de 900 mg.L^{-1} e pH 10.

De modo geral para as condições avaliadas tem-se que o tratamento utilizando o coagulante tanino, apresentou resultados mais interessantes, no que se refere a reutilização do efluente em processos de tingimentos.

Algumas sugestões para continuidade desse trabalho são:

- Realizar testes combinando os coagulantes;
- Aferir o pH após os tratamentos;
- Realizar o ajuste do pH antes de efetuar o tingimento com o efluente tratado;
- Fazer análise quantitativa das amostras tingidas;
- Realizar testes de tingimento utilizando o efluente tratado com diluições com água.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Cartilha da indústria têxtil e confecção Brasileira.** Disponível em: <http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf>

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105:A01:2011. Ensaio de Solidez à Cor: Princípios Gerais de Ensaio.** São Paulo, 2011.

_____. NBR ISO 105-C06: 2010. — **Ensaio de solidez da cor: Parte C06: Solidez da cor à Lavagem doméstica e comercial.** São Paulo, 2010.

ANDRADE, Flávio de. **Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento de lodos ativados e um polieletrólito orgânico.** 2003. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 19. ed., Washington D.C.: APHA/AWWA/WPCF. 1995. 798p.

ARAUJO, M., CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil.** 2ª Ed. Vol. II. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de Efluente Têxtil e propostas de tratamento.** Dissertação de mestrado do programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN, Brasil, 2000.

BELTRAME, L. T. C., DANTAS, T. N. C., DANTAS NETO, A. A., NASCIMENTO, J. E. “Microemulsão. A Nova Tecnologia na Remoção da Cor de Efluentes.” **Revista Química Têxtil**, Set de 2004: 65-75.

Beltran-Heredia, J.; Sánchez-Martin, J.; Gómez-Muñoz, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. *Chemical Engineering Journal* 2010, *162*, 1019.

BRITO-PELEGRINI, N. N., PELEGRINI, R. T. “Tratamento de Efluente Têxtil contendo Corante Reativo Blue Black por Processo Fotocatalítico, utilizando TiO₂/UV.” **Revista Química Têxtil**, 2005, 81 ed.: 38-42.

CAMBOIM, R. A., CAMPOS, J. S. de C. "Remoção de Cor de Efluente Têxtil pela Técnica de Eletroflotação: Um Estudo Espectrofotométrico." **Revista Química Têxtil**, Junho de 2010, 99 ed.: 34-42.

Fernades, A.K.S.; **Reuso de água no processamento de jeans na indústria têxtil**. 2010. 101f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010

COSTA, A. C. R., ROCHA, E. R. P. "**Panorama da Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções e a Questão da Inovação**". Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2009.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento têxtil**. Florianópolis, 2002.

FURLAN, F. R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis**. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GONÇALVES, L.V; **Tratamento eletroquímico e físico químico para efluente de lavanderia industrial têxtil**; Programa de pós graduação em engenharia ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

GUARATINI, C.C.I., ZANONI, M.V.B. "Corantes Têxteis." **Revista Química Nova**, 2000, 23 (1) ed.: 71-78.

GUTIÉRREZ, M.C.; CRESPI, M.; GRIMAU, V.L.; VALLDEPERAS, J. Reutilização de Águas Residuárias Descoloridas Mediante um Tratamento Eletroquímico. **Química Têxtil**, Junho 2007. N.87. 38-50.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. Tratamento do Efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vol. 7, n. 1, Jan/março 2002. 30-36.

IEMI. **Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**. Instituto de Estudos e Marketing Industrial, Sao Paulo: IEMI, 2014, 186.

JUNIOR, Osorio M. C. et al. Estudo sobre a coagulação e floculação de tratamento de efluentes da indústria têxtil. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 35, n. 1, p.83-88, jan./mar. 2013.

KADOLPH, S. **Textiles**. Estados Unidos, Pearson 2009

KUNZ, A., PERALTA-ZAMORA P., MORAES, S. G., DURÁN, N. “Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis.” **Revista Química Nova.**, 2002: 78-82.

MANENTI, D. R. **Tratamento de efluente têxtil sintético e real utilizando o processo foto-Fenton com irradiação artificial e solar**. Dissertação de Mestrado: Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo Paraná 2011.

MANGRICH, A.S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R; Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acacia mearnsii. **Revista Virtual de Química**. 2014

MARTINEZ, F. L. **Taninos vegetais e suas aplicações**. Cuba: Universidade de Havana, 1996.

MEZA, Cira Maricruz Mejia. **Produção Mais Limpa e Otimização do Tratamento de efluentes Líquidos de Estamparias em Brusque e Guabiruba**. 2010. 143 f. Dissertação (mestrado) – Curso Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2010
Acesso em: 03 mai. 2015

MONTE, H. M., ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa: Entidade Reguladora de Águas e Resíduos / Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010.

Montgomery, D. C., e Runger, G. C. (2012). **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros** (5º ed.). Rio de Janeiro: LTC.

NEEDLES, H. L. **Textile fibers, dyes, finishes and processes. A concise guide**. California: Davis: University of California., 1986.

ÖZACAR, M.; SENGIL, I. A. **Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles**. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 229; p. 85-96, 2003.

RIBEIRO, V.A.S. **Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por ZnO**. Maringá, 2010. Dissertação de mestrado em Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2010.

RIBEIRO, V.A.S. **Tratamento de efluente de lavanderia industrial de jeans por fotocatalise heterogênea aplicando catalisadores em suspensão e imobilizado**. Maringá, 2015. Tese de doutorado em Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2015.

ROSA, J. M., TAMBOURGI, E. B., BAPTISTA, E. A., SANTANA, J. C. C. S. "Detecção do Residual de Peróxido de Hidrogênio em Efluente Têxtil Tratado por Processo Oxidativo Avançado Com UV/H₂O₂." **Revista Química Têxtil**, 2011, 103 ed.: 64-70.

ROSOLEN, L. A., MONTEIRO, R. T. R., DELLAMATRICE, P. M., KAMIDA, H. M. "Biodegradação de Efluente Têxtil e Nove Corantes Técnicos Utilizando Fungos Basidiomicetos." **Revista Química Têxtil**, 2004, 76 ed.: 44-53.

SANCHES, J.C., "Têxteis inteligentes." **Revista Química Têxtil**, 2006, 82 ed.: 58-77.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil:Fibras. Conceitos e Tecnologias**. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010.

SALEM, V., DE MARCHI, A., MENEZES, F. G. "**Beneficiamento Têxtil na Prática**". Golden Química. São Paulo, 2005.

SILVA, E. M.; LIMA, G.F.C; LIMA, C.A.P.; VIEIRA, F.F. Tratamento de corante têxtil "Amarelo Cassafix CA-3R" por processo fotocatalítico utilizando ZnO. In 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais**. 2007b

SILVA, T. S.S. **Estudo de tratabilidade físico – química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. Dissertação de Mestrado: Pós graduação de saúde pública, Faculdade Osvaldo Cruz, 1999.

SOUZA, K. V., TIBURTIUS, E. L., WYPYCH, F., MORAES, S. G., CAMARGO, A., DURÁN, N., PERALTA-ZAMORA, P. "Degradação de Soluções Aquosas de Corantes Reativos Utilizando-se Processo de Co-Precipitação Seguido de Fotocatálise Heterogênea." **Revista Química Têxtil**, Setembro de 2004, 76 ed.: 58-63.

STAAKS, C. et al. Coagulation assessment and optimisation with a photometric dispersion analyser and organic characterisation for natural organic matter removal

performance. *Chemical Engineering Journal*, Austrália, v. 168, n. 2, p. 629-634, jan. 2011.

VANDEVIVERE, P. C., BIANCHI, R., VERSTRAETE, W. "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet - Processing Industry: Review of Emerging Technologies." *J. Chem. Technol. Biotechnol*, 1998, 72 ed.: 289-302.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos.** 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar as principais variáveis influentes em um processo.** Fundação Christiano Ottoni, v.8 Belo Horizonte, MG, 1996.

ZANELLA, G., SCHARF, M., VIEIRA, G. A., PERALTA-ZAMORA, P. "Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-fenton e avaliação da pontencialidade de reuso." **Química Nova**, 2010: 1039-1043.