

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GIGLIOLLA CAROLINE BIASON PINGUELO

**EMPREGO DE AUXILIAR NATURAL DE FLOCULAÇÃO PARA  
REMOÇÃO DE COR PELO PROCESSO DE  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

GIGLIOLLA CAROLINE BIASON PINGUELO

**EMPREGO DE AUXILIAR NATURAL DE FLOCULAÇÃO PARA  
REMOÇÃO DE COR PELO PROCESSO DE  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Flávia Vieira da Silva Medeiros

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

# EMPREGO DE AUXILIAR NATURAL DE FLOCULAÇÃO PARA REMOÇÃO DE COR PELO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

por

GIGLIOLLA CAROLINE BIASON PINGUELO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 07 de Julho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flávia Vieira da Silva Medeiros

---

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patricia Valderrama

Dedico este trabalho especialmente à minha grande e amada família, pelo apoio de sempre e por me permitirem alcançar meu objetivo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço de uma forma muito especial meus pais Irene e José Antônio pela confiança depositada em mim por todos estes anos, pelo investimento financeiro e pelo amor incondicional e dedicação durante toda minha vida.

Agradeço aos meus irmãos Giovana e Tulio por terem sido meus exemplos de vida, pelos conselhos, por sempre terem cuidado de mim e meu irmão Matheus por me incentivar a dar o meu melhor, para eu ser um exemplo também para ele.

Agradeço à minha orientadora professora Flávia que me ensinou, deu conselhos, foi paciente e desde 2012 me abraçou e acreditou no meu potencial, fazendo com que a realização deste trabalho fosse possível.

À professora Patrícia Valderrama pelo grande apoio e dedicação extremamente importantes para a realização e a qualidade deste trabalho.

À minha querida amiga e companheira de laboratório, Bruna, por sempre ter me ajudado, tanto na iniciação quanto na concretização deste trabalho.

Aos amigos (as) que fiz em Campo Mourão, que de uma forma ou de outra contribuíram para que eu chegasse até aqui, principalmente naquelas intermináveis horas de estudo e de conversa jogada fora. Vocês estão guardados com muito carinho no meu coração e nas minhas lembranças.

Aos meus amigos e amigas de muitos anos, que mesmo de longe me incentivaram e mostraram que além de amigos, somos irmãos.

Ao meu querido namorado Henrique, por todo carinho, paciência e parceria em vários momentos do desenvolvimento deste trabalho, assim como no nosso dia-a-dia.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, pelo fornecimento de espaço físico e equipamentos. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

À Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar por ceder o alcalinizante utilizado nas análises.

E por fim, agradeço ao Papai do Céu por me dar saúde, inteligência, discernimento e paciência para poder desfrutar de tudo o que descrevi acima. Sem Ele cuidando de tudo, nada seria possível.

## RESUMO

PINGUELO, Gigliolla C. B. Emprego de auxiliar natural de floculação para remoção de cor pelo processo de coagulação/floculação. 2015. 41 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

O processamento têxtil é gerador de grande quantidade de despejos altamente poluidores que são tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Uma das principais características dos efluentes provenientes da indústria têxtil é a presença de cor. Neste trabalho, avaliou-se o emprego do polímero natural do *Abelmoschus eschulentus* (L.) Moench (quiabo) como auxiliar de floculação para remoção de cor de solução aquosa preparada com corante têxtil vermelho pelo processo de coagulação/floculação. Pelo método da varredura foram determinados o comprimento de onda (274nm) a curva de calibração para este corante. Com ajuda de um planejamento fatorial  $2^3$ , foi possível realizar oito ensaios variando as concentrações de coagulante químico, corante e auxiliar de floculação. Os melhores resultados de remoção de cor e volume de lodo nestes ensaios foram encontrados quando a concentração de coagulante estava no nível inferior. Para um melhor detalhamento destes resultados, foi desenvolvido um modelo matemático utilizando o método dos mínimos quadrados parciais. As curvas de distribuição de probabilidade normalizada para os efeitos padronizados e também superfícies de respostas, possibilitaram confirmar que os melhores resultados encontram-se nos valores inferiores de coagulante químico e de corante, que a concentração de auxiliar de floculação não interfere no resultado final e assim, a partir do modelo matemático e das superfícies de resposta, foram escolhidas as concentrações que promoveriam a maior remoção de cor e a maior geração de lodo. As concentrações encontradas foram: 0,75 g/L de coagulante químico, 0,075 g/L de corante e 0,1 e 0,2 mL de auxiliar de floculação. Nestas condições, houve aproximadamente 97% de remoção da cor. Para a avaliação do lodo gerado, foi analisado o seu volume utilizando-se cones Imhoff, a densidade, umidade, matéria orgânica e alumínio. Dessa forma, foi possível concluir que os melhores resultados foram alcançados com concentrações de coagulante e corante no nível inferior e que a concentração de auxiliar de floculação não interferiu no resultado, o que não significa que a sua presença não seja importante. Assim, é demonstrado que a aplicação da solução de quiabo como auxiliar de floculação é promissora para melhorar a remoção de cor de efluentes têxteis.

**Palavras chaves:** Quiabo. Floculação. Coagulação. Efluente têxtil.

## ABSTRACT

PINGUELO, Gigliolla C. B. The use of natural flocculant agent for color removal by coagulation / flocculation process. 2015. 41 sheets. Graduation paper – Environmental Engineering major. Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão, 2015.

The textile processing is large amount of highly polluting dumps generator that are toxic to humans and the environment. A key feature of effluents from textile industry is the presence of color. In this work, we evaluated the use of natural polymer *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (okra) as an auxiliary flocculation for color removal of aqueous solution prepared with red textile dye by coagulation / flocculation process. By sweeping method were determined wavelength (274nm) calibration curve for this dye. With the help of a factorial design  $2^3$ , it was possible eight trials varying the chemical coagulant concentrations, dye and flocculation aid. The best color removal and sludge volume results in these tests were found when the coagulant concentration was in the lower level. For a more detailed these results, it developed a mathematical model using the method of least squares. This method normalized probability distribution curves were constructed for the purpose and also standardized response surfaces, which allowed confirm that the best results are lower than the values of chemical coagulant and dye, the concentration of flocculation aid does not interfere and so the end result from the mathematical model and the response surfaces, concentrations that would promote the greater color removal and greater sludge generation were chosen. The concentrations were: 0.75 g / L of chemical coagulant, 0.075 g / L and dye 0.1 and 0.2 ml of flocculating aid. Accordingly, there was approximately 97% color removal. For the evaluation of the generated sludge, the volume generated was analyzed using Imhoff cones, density, moisture, organic matter and aluminum. Thus, it was concluded that the best results were achieved with coagulant concentrations and dye on the lower level and flocculation aid concentration did not affect the result, which does not mean that their presence is not important. Thus, it is demonstrated that the application of okra solution as flocculating aid is promising to improve the color removal of textile effluents.

**Key words:** Okra. Flocculation. Clotting. Textile effluent.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de coagulação/floculação no aparelho Jar Test .....	14
Figura 2 - Planta e frutos de quiabo ( <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench) .....	15
Figura 3 - Corante têxtil vermelho nº: 09 da marca Guarany utilizado nos ensaios ..	17
Figura 4 - Gráfico da absorvância (nm) pela concentração (g/L) .....	23
Figura 5 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na remoção de cor. (1- média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-F, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7- Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ2, 10-Q2, 11-C2).....	26
Figura 6 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na formação de lodo. (1- média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-F, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7- Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ2, 10-Q2, 11-C2).....	26
Figura 7 - Mapa de contorno para o modelo obtido na remoção de cor com a concentração de quiabo no nível superior.....	27
Figura 8 - Mapa de contorno para o modelo obtido na remoção de cor para a concentração de quiabo no nível inferior.....	28
Figura 9 - Mapa de contorno para o modelo obtido na formação de lodo para a concentração de quiabo no nível superior.....	29
Figura 10 - Mapas de contorno para o modelo obtido na formação de lodo para a concentração de quiabo no nível inferior.....	29
Figura 11 - Avaliação do lodo residual em relação ao volume gerado utilizando-se Cones Imhoff .....	32
Figura 12 - Amostras de lodo durante a análise se umidade e matéria orgânica .....	34
Figura 13 - Resultados da avaliação do metal Al através do Azul de Thenard .....	35
Figura 14 – Resultados da avaliação do metal Al através de precipitação .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de planejamento .....	19
Tabela 2 - Matriz codificada e coeficientes de contraste para um planejamento fatorial $2^3$ .....	24
Tabela 3 - Melhor condição experimental escolhida a partir dos mapas de contorno e das equações criadas no modelo.....	30
Tabela 4 - Resultados da melhor condição experimental com a concentração de auxiliar de floculação em 0,1 mL.....	30
Tabela 5 - Resultados da melhor condição experimental com a concentração de auxiliar de floculação em 0,2 mL.....	31
Tabela 6 - Resultados para o volume de lodo utilizando-se cones Imhoff nos ensaios com a melhor condição experimental.....	33
Tabela 7 - Resultados para a massa do lodo e para a densidade .....	33
Tabela 8 - Resultados da umidade e matéria orgânica para o lodo residual.....	33

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	12
3.2 CORANTES .....	12
3.3 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	13
3.4 AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO .....	14
3.5 LODO RESIDUAL .....	16
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
4.1 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES .....	17
4.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	18
4.3 AVALIAÇÃO DO LODO RESIDUAL.....	20
4.3.1 Determinação do volume de lodo gerado.....	20
4.3.2 Densidade .....	21
4.3.3 Umidade e Matéria Orgânica.....	21
4.3.4 Determinação qualitativa de alumínio pelo método do Azul de Thenard.....	21
4.3.5 Determinação qualitativa do alumínio por formação de hidróxido de alumínio.....	22
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>23</b>
5.1 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO DO CORANTE E CONSTRUÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO.....	23
5.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO .....	24
5.3 AVALIAÇÃO DO LODO RESIDUAL.....	31
5.3.1 Volume de lodo gerado .....	32
5.3.2 Densidade .....	33
5.3.3 Umidade e Matéria Orgânica.....	33
5.3.4 Análise qualitativa da presença de alumínio .....	34
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias têxteis constituem fator de grande importância na economia brasileira. Os estados de Santa Catarina e São Paulo são os maiores pólos têxteis em volume de produção do Brasil. O processamento têxtil é gerador de grande quantidade de despejos altamente poluidores, contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente (HASSEMER; SENS, 2002).

Uma das principais características dos efluentes provenientes da indústria têxtil é a presença de cor, resultado principalmente dos corantes que são aplicados nas operações de tingimento (ZOLLINGER, 1987). A cor interfere na transmissão da luz solar para dentro da corrente de água e, prejudica a atividade fotossintética das plantas presentes nesse ecossistema. Além disso, a oxidação biológica desse material consome o oxigênio dissolvido existente, prejudicando a atividade respiratória dos organismos vivos (SILVEIRA; SANTANNA, 1990).

No que diz respeito à produção, a indústria têxtil é uma das maiores do mundo, e todas se caracterizam por requerer grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (SANIN, 1997 *apud* HASSEMER; SENS, 2002). Segundo Resende (2012), estima-se que, para produzir 1 kg de tecido, sejam necessários 80 L de água.

Ainda de acordo com Resende (2012), os efluentes têxteis dependem do tipo de fibra processada e da tecnologia aplicada no processo fabril. Em particular, essas empresas têm de lidar com óleos, graxas, altas temperaturas e corantes.

Devido à sua própria natureza, os corantes são altamente detectáveis a olho nu, sendo visíveis em alguns casos mesmo em concentrações baixas como 1 mg/L (GUARATINI; ZANONI, 2000). Quando lançados nos corpos aquáticos receptores, mesmo quantidades reduzidas podem alterar a coloração natural dos rios, resultando em graves problemas estéticos além de reduzir alguns processos fotossintéticos (SALLES; PELEGRINI; PELEGRINI, 2006).

Para o tingimento têxtil, são utilizados vários tipos de corantes, e cada um é escolhido de acordo com a natureza da fibra têxtil, suas características estruturais, classificação do corante, propriedades de fixação do corante à fibra têxtil, custo econômico, dentre outras propriedades (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Existem inúmeros procedimentos utilizados para o tratamento de águas contaminadas por corantes, os principais processos são coagulação, floculação, processos de separação por membranas, adsorção, precipitação, degradação química (processos oxidativos), eletroquímica, fotoquímica e biodegradação (FORTINO, 2012).

Os processos de coagulação/floculação são largamente utilizados para o tratamento de efluentes, pela sua eficiência e simplicidade de operação. Estas duas etapas têm a intenção de reunir as impurezas que se encontram suspensas em estado coloidal para que possam ser removidas por decantação, flotação e/ou filtração (FORTINO, 2012).

Além destes procedimentos, podem-se utilizar também auxiliares de floculação com o intuito de aperfeiçoar o processo de coagulação/floculação. A combinação de agentes auxiliares naturais associa-se à provável redução da dosagem do coagulante inorgânico, promovendo assim menor geração de lodo, com consequentes benefícios de seu tratamento e disposição final (STUMM; MORGAN, 1996).

Dentre os diversos polímeros naturais usados como auxiliares de floculação, verifica-se o emprego de algumas plantas, tais como: o quiabo (*Abelmoschus eschulentus* (L.) Moench), usado na forma da mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo) ou na forma de solução feita a partir do pó seco da vagem pulverizada (ABREU LIMA, 2007).

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo expandir os estudos da remoção de cor por meio do processo de coagulação/floculação, utilizando uma solução aquosa de quiabo como auxiliar natural de floculação.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Remover a cor de uma solução aquosa de corante têxtil vermelho por meio do processo de coagulação/floculação, utilizando uma solução de quiabo como auxiliar natural de floculação.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o comprimento de onda de máxima absorbância da solução do corante e construir uma curva de calibração;
- Analisar a eficiência do coagulante químico sulfato de alumínio para remoção de cor de soluções aquosas com o corante têxtil vermelho;
- Analisar a eficiência do quiabo (*Abelmoschus eschulentus* (L.) Moench) como auxiliar natural de floculação em conjunto com o coagulante químico, para remoção de cor de soluções aquosas com o corante têxtil vermelho;
- Utilizar o processo de coagulação/floculação nas condições ótimas obtidas;
- Realizar uma avaliação multivariada das condições experimentais para obter a máxima remoção de cor e máxima produção de lodo;
- Caracterizar a solução de corante vermelho antes e depois do tratamento nas condições escolhidas;
- Avaliar o lodo residual.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria Têxtil e de Confeção Brasileira está presente em todo o território nacional, gerando desenvolvimento e emprego em todos os estados brasileiros. O setor possui 30 mil empresas em atividade, 8 milhões de empregos direto e indiretos, faturamento anual de 90 bilhões de reais e ainda conta com participação em 3,5% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro (ABIT, 2011).

No que tange ao uso de recursos hídricos, a indústria como um todo representa 22% do consumo de água no Brasil e o setor têxtil e de confecção, inserido nesse contexto, está sujeito a rígidas Leis e Resoluções Federais, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água, bem como estabelecem condições e padrões de lançamentos de efluentes (CNI, 2013).

O setor têxtil apresenta destaque ao consumo de água, devido a seu grande parque industrial instalado gerar grandes volumes de efluentes, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental (KUNZ et al., 2002).

Os processos têxteis são grandes consumidores de água e de corantes sintéticos, geradores de efluentes volumosos e de complexa composição com elevada carga orgânica e elevado teor de sais inorgânicos (DUENSER, 1992).

Nos processos das indústrias têxteis, grande parte da água utilizada não faz parte do produto final e cerca de 80% se torna efluente altamente heterogêneo e poluente. As têxteis geram em média 50 m<sup>3</sup> de resíduos por hora na produção de 4,25 milhões de metros de tecido em um mês (RESENDE, 2012).

#### 3.2 CORANTES

A origem exata do surgimento dos corantes não é totalmente conhecida, porém há indícios de que as primeiras civilizações humanas iniciaram o uso de pigmentos

naturais há aproximadamente 40.000 anos atrás. Os primitivos utilizavam pigmentos para demarcação de territórios, para inscrições em rochas e árvores, para tingir peles e para pintar seus corpos em épocas de guerra (DELAMARE; GUINEAU, 2000).

Os corantes são classificados por sua estrutura química ou por sua aplicação (TWARDOKUS, 2004). Segundo Galembeck et al. (2004), podem ser inorgânicos ou orgânicos, obtidos de fontes naturais ou sintetizados. O autor ainda ressalta que é classificada como corante ou pigmento toda substância química que absorve luz natural, seletivamente, e a reflete em um determinado comprimento de onda, ou seja, numa cor específica.

Os corantes são facilmente detectáveis a olho nu e causam sérios problemas de natureza estética nos corpos d'água receptores, mesmo quando presentes em pequenas quantidades. Além disso, a maioria dos corantes é resistente à biodegradação, à fotodegradação e à ação de agentes oxidantes e alguns são suspeitos de induzirem efeitos carcinogênicos e/ou mutagênicos (GUARITINI et al. 2000; ALCÂNTARA et al. 1996).

### 3.3 COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

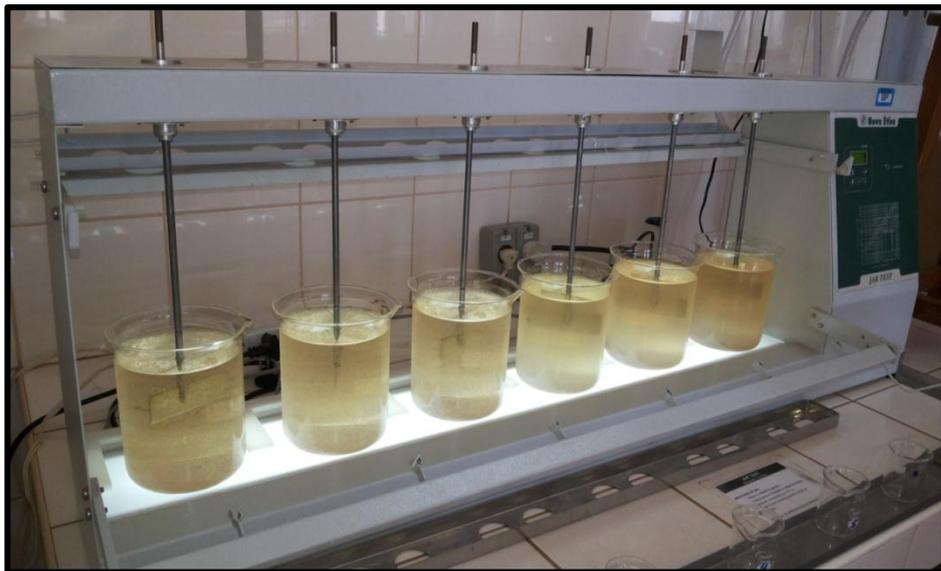
Segundo Di Bernardo & Dantas (2005), partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos normalmente possuem carga negativa na água. Quando essas partículas coloidais se aproximam, devido ao movimento browniano que as mantém em constante movimento, forças de atração (Forças de Van der Waals) e forças de repulsão (devido à força eletrostática ou da dupla camada elétrica) atuam sobre elas, o que impede a agregação entre as partículas, e dessa forma, impede também a formação de flocos.

Os termos coagulação e floculação são utilizados como sinônimos, uma vez que ambos compõem em sua totalidade a aglomeração das partículas. Este processo é realizado utilizando-se o aparelho denominado "*Jar Test*" (Figura 1). Porém, pode-se dizer que, a coagulação é o processo através do qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão, e a floculação é a aglomeração dessas

partículas por meio de transporte de fluido, de modo a formar partículas maiores que possam sedimentar (RITCHER e NETTO, 2003 *apud* CARDOSO, 2007).

O processo de coagulação/floculação é utilizado para desestabilizar produtos coloidais, formação de microflocos e, desta maneira, eliminar uma parte dos sólidos dissolvidos, assim como sólidos em suspensão. Uma característica da maioria dos efluentes de indústrias têxteis é que uma grande parte dos poluentes permanece em forma coloidal, no qual valores de 30 – 40% de DQO (Demanda Química de Oxigênio) total são comuns (HALLER, 1993).

Para alguns dos principais processos têxteis que descarregam seus efluentes diretamente nos rios têm sido requeridos, algumas vezes, a remoção da cor. Esta tem sido realizada através de um tratamento terciário com a técnica de coagulação e floculação usando polieletrólitos e/ou coagulantes inorgânicos (tais como sais férricos e de alumínio) (COOPER, 1993).



**Figura 1- Processo de coagulação/floculação no aparelho Jar Test**  
**Fonte: Elaborada pela autora.**

### 3.4 AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO

Os polímeros naturais são usados como auxiliares de floculação em conjunto com o coagulante primário desde o início da década de 50, tendo como maior

vantagem o desenvolvimento dos flocos mais resistentes às forças de cisalhamento, possibilitando floculação com gradientes mais elevados, com formação de flocos mais densos e com maior velocidade de sedimentação (ABREU LIMA, 2007).

Os auxiliares naturais de coagulação ou de floculação têm demonstrado vantagens em relação aos auxiliares químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos residuais (MORAES, 2004).

Dentre os diversos polímeros naturais usados como auxiliares de floculação, verifica-se também o emprego de algumas plantas, tais como: o quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench), usado na forma da mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo) ou na forma de solução feita a partir do pó seco da vagem pulverizada. O polímero natural do quiabo possui baixo custo, faz parte da alimentação humana em várias regiões do mundo, sendo assim, apresenta baixa toxicidade (ABREU LIMA, 2007).



Figura 2 - Planta e frutos de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench)

Fonte: (A) Adaptado de <https://www.flickr.com>

(B) Adaptado de <http://www.brasile scola.com>

### 3.5 LODO RESIDUAL

O lodo é um produto semi-sólido que tem origem nos tratamentos primários e secundários das estações de tratamento de efluentes (VASQUES, 2008), sendo este um dos principais problemas neste tipo de tratamento, devido à grande quantidade disponível e problemas relacionados à sua disposição final (BRAILE; CAVALCANTI, 1979).

Mais especificamente, estes resíduos são gerados através dos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. No decorrer dessas atividades, são adicionados produtos químicos conduzindo a formação de resíduos. O lodo possui características variadas, dependendo, essencialmente, das condições apresentadas pelo efluente, dosagens dos produtos químicos utilizados, como também da forma de lavagem dos decantadores (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

Os lodos são classificados pela série de normas NBR-10004/2004 como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento “in natura” em águas superficiais (ABNT, 2004). O lançamento deste tipo de resíduo, em corpos d’água, pode ser considerado crime ambiental, de acordo com a Lei 9.605/98, devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor e danos à fauna aquática.

De acordo com a NBR 10004:2004, os resíduos sólidos são classificados como Perigosos (Classe I), Não Perigosos (Classe II), Não Inertes (Classe II A) e Inertes (Classe II B). Mendes (1998) relata que o lodo proveniente da estação de tratamento de indústria têxtil é de baixa toxidez e, portanto, classificado como resíduo de Classe II A – Não Inerte, ou seja, resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

A quantidade de lodo gerado em estações de tratamento é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos. A disposição final do lodo é problemática e pode representar até 60% dos custos operacionais de uma unidade de tratamento de efluentes (MAZZER; CAVALCANTI, 2004).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos que envolvem este trabalho, preparação de soluções aquosas, caracterização da água bem como os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão (UTFPR-CM).

### 4.1 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES

Para preparação da solução aquosa, utilizou-se o corante têxtil vermelho nº: 09 da marca Guarany (Figura 3), com concentrações que variaram de 0,05 a 0,15 g/L (0,05g e/ou 0,15g em um litro de água).



Figura 3 - Corante têxtil vermelho nº: 09 da marca Guarany utilizado nos ensaios  
Fonte: Elaborada pela autora.

Foi determinado o comprimento de onda para a solução deste corante na concentração de 0,15 g/L pelo método da varredura no espectrofotômetro DR 5000 UV-VIS HACH. Para esta etapa, foi preparada a solução aquosa padrão do corante conforme a descrição acima e em seguida feita a leitura desta solução no espectrofotômetro para então encontrar o comprimento de onda de máxima absorbância.

Posteriormente, foi construída uma curva de calibração a partir das absorbâncias em nanômetro (nm) no comprimento de onda máxima pela concentração de corante em g/L e obtendo, conseqüentemente, a equação da reta (ajuste linear) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

A solução de alcalinizante foi preparada com concentração de 4,7% (v/v), diluindo 4,7mL de uma solução saturada de carbonato de cálcio em 100 mL de água destilada, com auxílio de um balão volumétrico. E o volume utilizado nos ensaios foi fixado em 5 mL.

Já o coagulante químico sulfato de alumínio foi utilizado diretamente na solução aquosa de corante têxtil vermelho em quantidades pré-determinadas, 0,5 e 1,5 g/L.

A concentração de solução padrão de quiabo como auxiliar de floculação, foi preparada a partir de 1% (m/v), dissolvendo-se 1 g do auxiliar já seco e triturado em 100 mL de água destilada, também com o auxílio de um balão volumétrico.

#### 4.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados em equipamento de *Jar Test* modelo 218/LDB 06 de seis provas da marca Nova Ética, com regulador de rotação das hastes misturadoras, com béqueres de 1000 mL.

Primeiramente, foram realizados oito ensaios variando as concentrações de coagulante químico, auxiliar de floculação e concentração de corante têxtil vermelho por meio de um planejamento fatorial  $2^3$  (Quadro 1).

Planejamento Fatorial 2 <sup>3</sup>		
Fatores	Níveis	
	(-)	(+)
Concentração de coagulante químico (g/L)	0,50	1,50
Concentração de floculante (quiabo)(mL)	0,10	0,20
Concentração de Corante (g/L)	0,05	0,15

**Quadro 1 - Planejamento Fatorial 2<sup>3</sup>**

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no *Jar Test* com 1.000 mL da solução aquosa de corante têxtil vermelho em cada jarro, com as concentrações de 0,05 g/L e 0,15 g/L. O alcalinizante foi adicionado um minuto antes do coagulante para promover sua completa homogeneização. As quantidades de coagulante químico e da solução padrão do auxiliar de floculação foram acrescentadas de acordo com a matriz de planejamento (Tabela 1).

Nesse planejamento, foram avaliados os efeitos das concentrações de coagulante químico, auxiliar de floculação e corante em dois níveis, um nível inferior (x, y e z, respectivamente) e superior (x, y e z, respectivamente).

**Tabela 1 – Matriz de planejamento**

CQ	F	C
-1	-1	-1
1	-1	-1
-1	1	-1
1	1	-1
-1	-1	1
1	-1	1
-1	1	1

Legenda - CQ: Coagulante químico; F: Floculante (quiabo); C: Corante têxtil vermelho.

Para correlacionar a matriz codificada com uma matriz contendo os valores de intensidade de cor e quantidade de lodo gerado, foi empregada a metodologia de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) (GELADI; KOWALSKI, 1986). O objetivo desse modelo foi encontrar os valores dos coeficientes de regressão (b) para cada uma das colunas da matriz codificada.

Para identificar quais coeficientes de regressão foram significativos, uma curva de distribuição de probabilidade normalizada foi avaliada (BARROS NETO, 2003).

A velocidade e o tempo de mistura rápida foram de 180 rpm e um minuto e para a mistura lenta foi fixado em 30 rpm e dez minutos.

Os auxiliares de floculação foram adicionados na etapa de mistura lenta (floculação), aproximadamente quatro minutos após o término da mistura rápida, conforme descrito por Abreu Lima (2007).

Após os processos de coagulação e floculação, o equipamento *Jar Test* foi desligado, e as amostras mantidas em repouso por dez minutos, para que ocorresse a sedimentação do material floculado.

Foram coletadas amostras da solução aquosa de corante têxtil vermelho antes e após o tratamento, para verificar a eficiência do processo em relação à remoção de cor.

A leitura de cor foi realizada no espectrofotômetro DR 5000 UV-VIS HACH com o comprimento de onda de 455nm, e todos os ensaios foram realizados em duplicata.

A condição experimental que promovesse a melhor remoção de cor e a maior quantidade de lodo foi escolhida avaliando-se a superfície de resposta (mapas de contorno) juntamente com as equações criadas nos modelos, para então realizar análises de pH, cor e turbidez da solução aquosa de corante vermelho antes e após o tratamento.

### 4.3 AVALIAÇÃO DO LODO RESIDUAL

#### 4.3.1 Determinação do volume de lodo gerado

O lodo depositado no fundo dos béqueres após estes ensaios foi recolhido e caracterizado, primeiramente em relação ao volume gerado utilizando-se cones Imhoff.

#### 4.3.2 Densidade

A determinação da densidade ( $D$ ) foi feita pesando-se 10 mL do lodo, obtendo desta forma a massa do mesmo. Então, o cálculo da densidade é feito dividindo-se a massa ( $M$ ) obtida, pelo volume ( $V$ ) determinado (equação 1), de acordo com a metodologia proposta por (MORETTO et al., 2011)

$$D = \frac{M}{V} \quad (1)$$

#### 4.3.3 Umidade e Matéria Orgânica

Os parâmetros umidade e matéria orgânica foram determinados de acordo com metodologia descrita por Herek et al. (2005).

Para determinação da umidade foi realizada a secagem em estufa a 105 °C por 16 horas. A matéria orgânica foi determinada por aquecimento em estufa por mais 24 horas do material resultante da análise de umidade.

#### 4.3.4 Determinação qualitativa de alumínio pelo método do Azul de Thenard

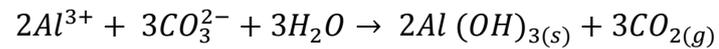
O alumínio proveniente do tratamento se fixa no lodo e interfere no tratamento e disposição final deste.

Para determinação da presença de alumínio no lodo gerado, foram colocadas 100µL do lodo resultante do ensaio da melhor condição experimental contendo  $\text{Al}^{3+}$  em papel filtro; 50µL de nitrato de cobalto 0,1 mol/L e 100µL de hidróxido de amônio 6 mol/L. Após as soluções secarem, este papel filtro foi colocado em uma cápsula de porcelana e levado para aquecer por dois minutos. Após esfriar, foi observado o

resíduo azul de aluminato de cobalto ( $\text{Co}(\text{AlO}_2)_2$  ou  $\text{Al}_2(\text{CoO}_4)$ ) conhecido como azul de Thenard. Esta metodologia foi adaptada de Vaitsman e Bittencourt (1944).

#### 4.3.5 Determinação qualitativa do alumínio por formação de hidróxido de alumínio

Neste método, carbonato de sódio foi adicionado a dez gotas do lodo contendo  $\text{Al}^{3+}$  até haver precipitação completa. Há formação de hidróxido de alumínio, insolúvel no excesso do reagente, conforme a seguinte reação:



Esta metodologia também foi adaptada de Vaitsman e Bittencourt (1944).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO DO CORANTE E CONSTRUÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO

O primeiro procedimento realizado neste trabalho foi determinar o comprimento de onda de máxima absorção para uma solução de corante têxtil vermelho na concentração de 0,15 g/L pelo método da varredura no espectrofotômetro DR 5000 UV-VIS HACH. A máxima absorção para esse corante ocorreu no comprimento de onda de 274nm.

A partir das absorbâncias para uma série de soluções de corante têxtil vermelho em diferentes concentrações, construiu-se uma curva de calibração. Determinou-se a equação da reta (ajuste linear) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) (Figura 4).

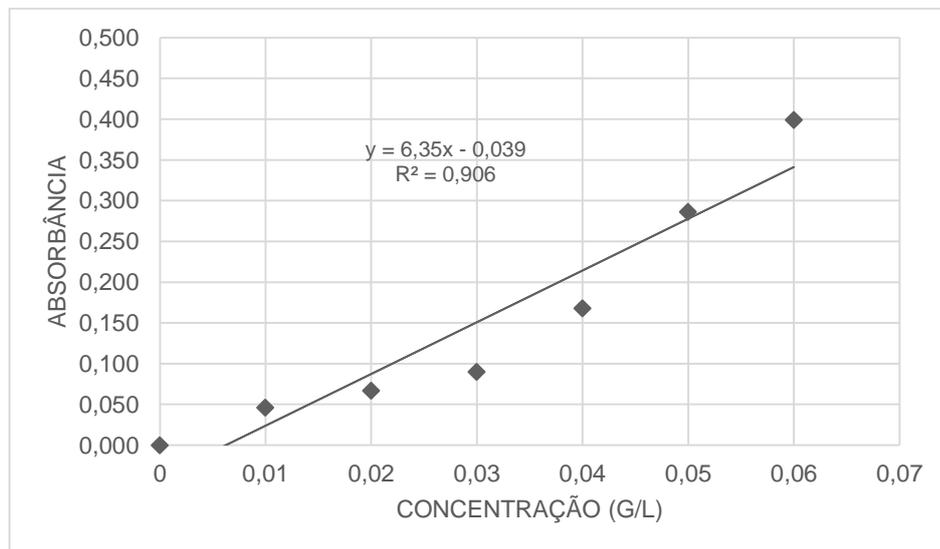


Figura 4 - Gráfico da absorbância (nm) pela concentração (g/L)

Como esperado, a absorbância aumenta com o aumento da concentração de corante, e esta relação pode ser aproximada pela equação da reta obtida.

## 5.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Na realização de planejamentos fatoriais completos, são executados experimentos em todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores (BARROS NETO, 2003). Neste trabalho foi realizado um planejamento fatorial  $2^3$  de acordo com a matriz codificada apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Matriz codificada e coeficientes de contraste para um planejamento fatorial  $2^3$**

Média	CQ	F	C	CQ*F	CQ*C	F*C	CQ*F*C	CQ*CQ	F*F	C*C
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Legenda - CQ: Coagulante químico; [ ] F: Floculante (quiabo); C: Corante têxtil vermelho;

Seguindo o planejamento fatorial  $2^3$ , obteve-se os seguintes resultados (Quadro 2):

Ensaio	[ ] CQ	[ ] F	[ ] C	Cor Antes			Cor Depois			Redução Cor %	Volume de Lodo		
				A	B	Média	A	B	Média		A	B	Média
1	-	-	-	209	278	244	41	38	40	83,78	40	40	40
2	+	-	-	262	207	235	98	78	88	62,47	3	10	7
3	-	+	-	185	167	176	37	43	40	77,27	40	40	40
4	+	+	-	164	229	197	94	107	101	48,85	8	8	8
5	-	-	+	676	561	619	98	150	124	79,95	50	50	50
6	+	-	+	572	566	569	107	170	139	75,66	14	11	13
7	-	+	+	688	564	626	110	163	137	78,19	53	51	52
8	+	+	+	600	568	584	143	151	147	74,82	15	7	11

Legenda - [ ] CQ: Concentração de coagulante químico; [ ] F: Concentração de floculante (quiabo); [ ] C: Concentração de corante têxtil vermelho; A: Amostra 1; B: Duplicata.

**Quadro 2 - Resultados dos ensaios de coagulação/floculação**

O método de mínimos quadrados parciais foi empregado na correlação da matriz de planejamento  $X$  com a matriz de respostas  $Y$  contendo a média da

remoção de cor e o volume médio de lodo (GELADI; KOWALSKI, 1986). Essa correlação permitiu o desenvolvimento de um modelo matemático, ou seja, a determinação dos valores de coeficientes de regressão (b) para cada uma das colunas da matriz **X**. Entretanto, nem sempre todos os coeficientes de regressão são significativos e para verificar quais os são, uma curva de distribuição de probabilidade normalizada deve ser construída (BARROS NETO et al. 2003).

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as curvas da distribuição de probabilidade normalizada para os efeitos padronizados para se avaliar cada fator e suas interações no processo de tratamento da solução aquosa de corante utilizando o quiabo como auxiliar de floculação no processo.

Este gráfico pode ser dividido em duas regiões, uma em que os fatores e interações apresentam coeficientes negativos e outra em que os fatores e as interações apresentam coeficientes positivos. Todos os fatores e interações que são representados por um asterisco em verde foram significativos, e se localizam fora da linha central que cruza o valor zero na ordenada. Os efeitos posicionados nessa linha foram representados por um ponto em azul e correspondem à estimativa dos erros dos efeitos, não sendo significativos (BRASIL et. al. 2007).

No caso da cor (Figura 5), os valores positivos dos coeficientes 2 (Coagulante Químico - CQ) e 4 (Corante - C) indicam que a cor torna-se mais intensa com a concentração maior de coagulante químico e de corante. No lodo (Figura 6), os valores negativos dos coeficientes 2 (CQ) e 4 (C) indicam que a quantidade de lodo torna-se menor com a concentração menor de coagulante químico e corante. O efeito do auxiliar de floculação (Quiabo – F) sozinho não foi importante no processo, porém a interação do auxiliar de floculação com ele mesmo se mostrou significativa (coeficiente 10). Isso não indica que a presença do quiabo não seja importante, mas sim que é indiferente manter sua concentração no nível inferior ou superior, pois ambas contribuem da mesma forma no processo de remoção de cor e formação de lodo.

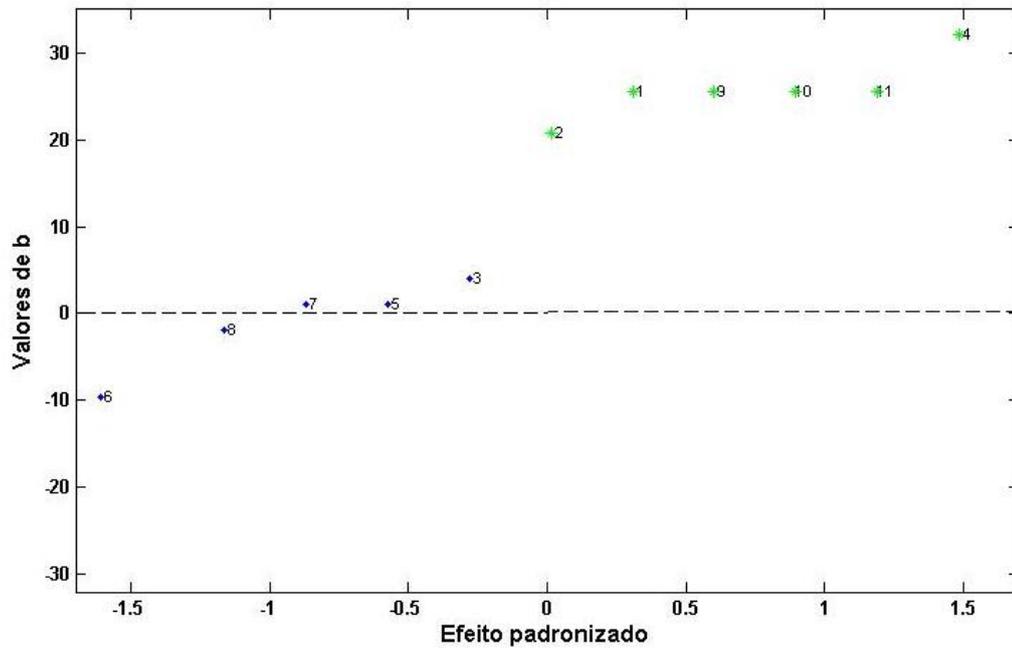


Figura 5 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na remoção de cor. (1-média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-F, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7-Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ2, 10-Q2, 11-C2).

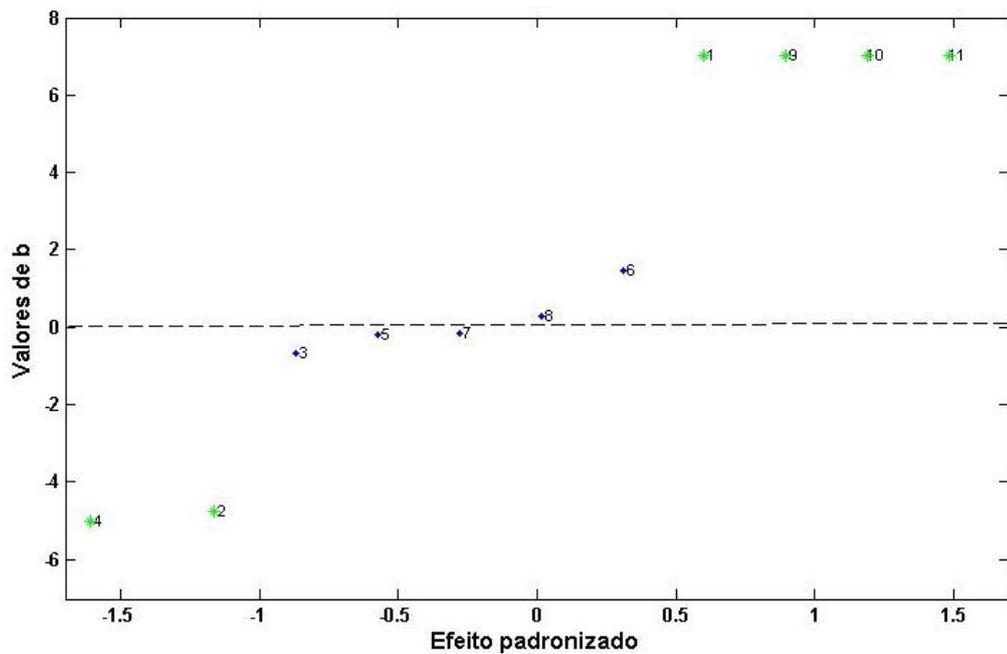


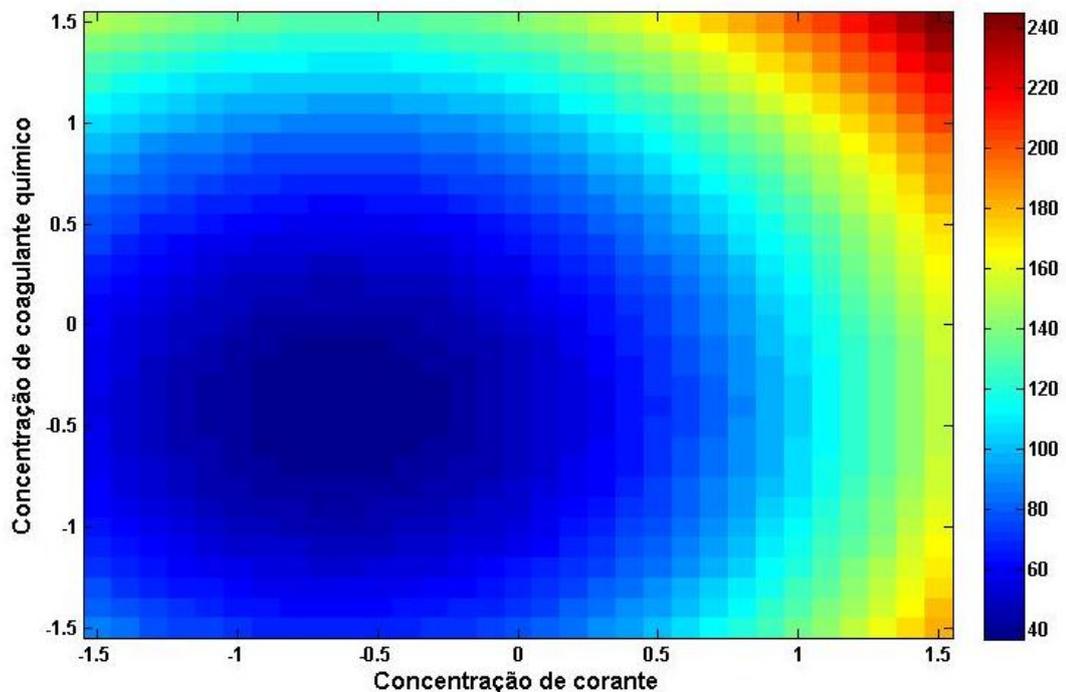
Figura 6 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na formação de lodo. (1-média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-F, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7-Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ2, 10-Q2, 11-C2).

Após avaliar os fatores e verificar quais foram significativos no processo, foi possível escrever uma equação simplificada para o modelo matemático na remoção de cor (equação 2) e na formação de lodo (equação 3) e realizar uma análise dos mapas de contorno para obtenção da máxima remoção de cor (Figuras 7 e 8) e formação de lodo (Figuras 9 e 10).

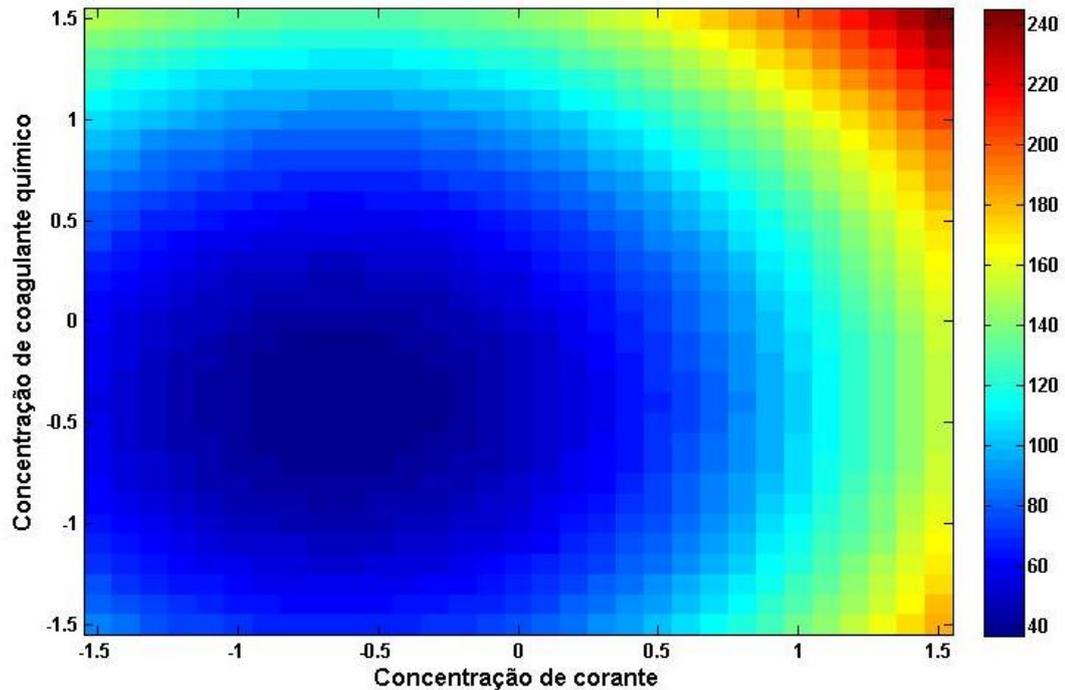
$$y=25,5344+20,7468.CQ+32,0492.C+25,5344.CQ^2+25,5344.F^2+25,5344.C^2(2)$$

$$y=7,0193-4,7426.CQ-4,9990.C+7,0193.CQ^2+7,0193.F^2+7,0193.C^2(3)$$

Em ambos os casos, como as concentrações de coagulante químico (CQ) e corante (C) foram significativas, fixamos a concentração do auxiliar de floculação (F) nos níveis inferior e superior para a construção da superfície de resposta.



**Figura 7 - Mapa de contorno para o modelo obtido na remoção de cor com a concentração de quiabo no nível superior**



**Figura 8 - Mapa de contorno para o modelo obtido na remoção de cor para a concentração de quiabo no nível inferior**

Por meio das superfícies de respostas, ficou comprovado que realmente não existe influência significativa da concentração de quiabo no processo de remoção de cor, uma vez que as superfícies são idênticas. No caso da cor, verifica-se que a remoção é mais significativa com a concentração do corante e do coagulante químico no nível inferior, mas isso não significa que se as concentrações de CQ e C forem ainda menores a remoção de cor será mais significativa. Observando as Figuras 7 e 8, pode-se notar que diminuindo a concentração, tanto do corante quanto do coagulante químico, a intensidade de cor azul escuro no mapa aumenta, o que significa, portanto, serem estas as condições ótimas que promovem a máxima remoção de cor.

Os mapas de contorno para a quantidade de lodo gerada no processo são apresentados na Figura 9 e 10.

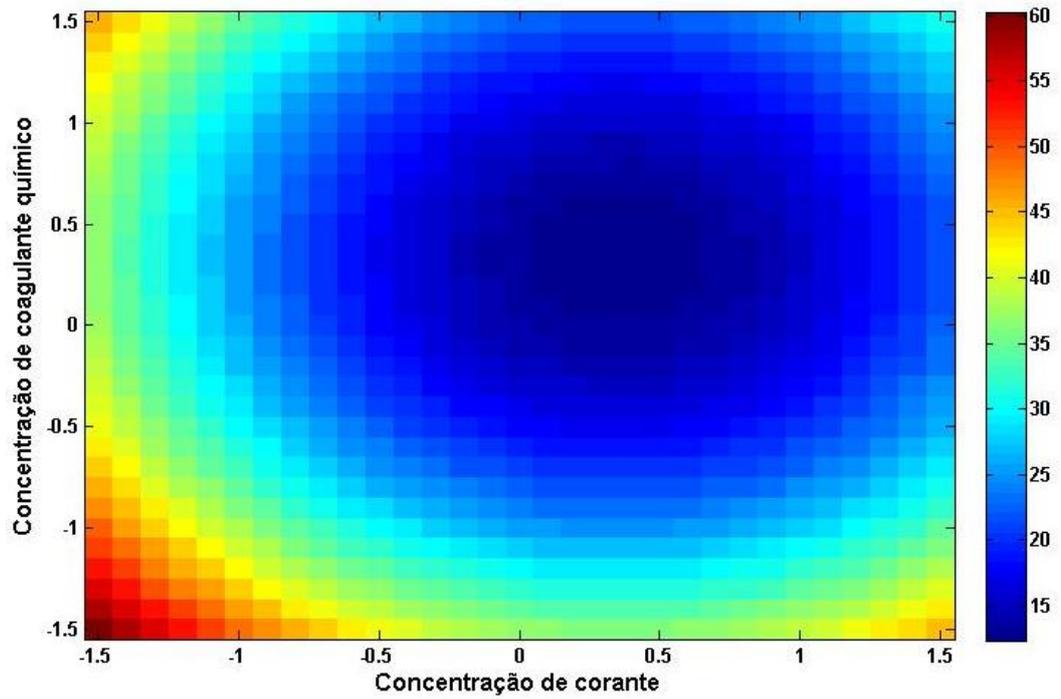


Figura 9 - Mapa de contorno para o modelo obtido na formação de lodo para a concentração de quiabo no nível superior

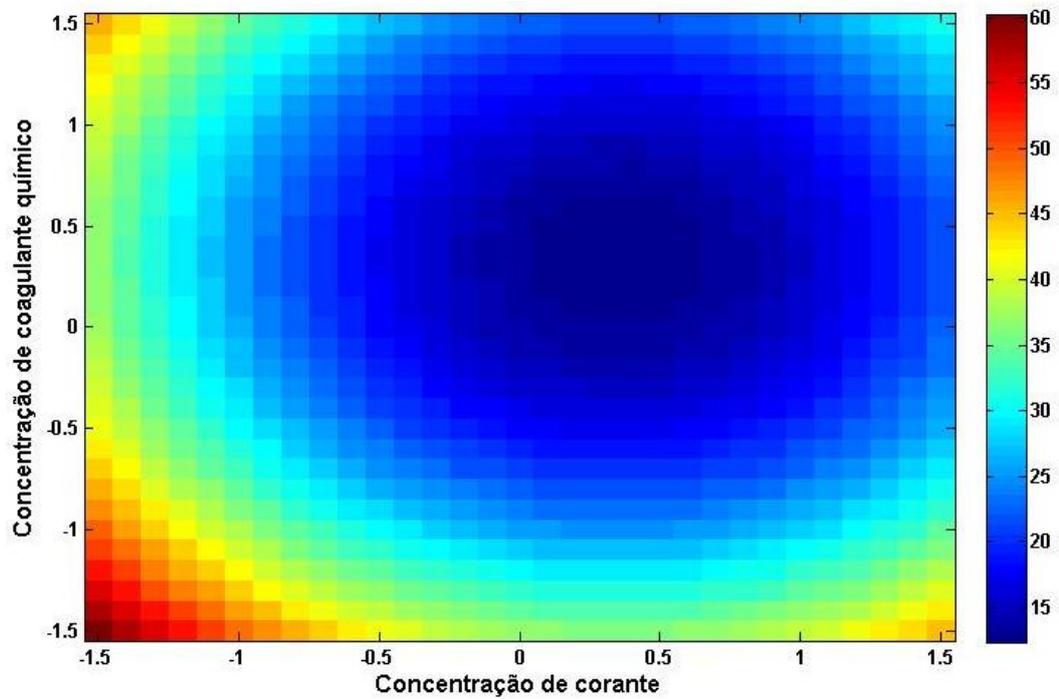


Figura 10 - Mapas de contorno para o modelo obtido na formação de lodo para a concentração de quiabo no nível inferior

A maior quantidade de lodo será obtida quando as concentrações de corante e coagulante químico estiverem abaixo das concentrações utilizadas nos níveis inferiores. Nesse caso também não existe influência significativa da concentração do auxiliar de floculação no processo e as superfícies são praticamente idênticas.

Portanto, a partir destas análises juntamente com as equações criadas no modelo, foi possível encontrar concentrações ideais para o coagulante químico e para o corante que resultassem em uma maior remoção de cor e maior geração de lodo. E para que se comprovasse que a concentração do quiabo era indiferente no processo, foram feitas duas análises em duplicata, uma com a concentração no nível inferior e outra no nível superior da solução de quiabo (Tabela 3).

**Tabela 3 - Melhor condição experimental escolhida a partir dos mapas de contorno e das equações criadas no modelo**

Fatores	[ ] Ensaio 1	[ ] Ensaio 2
Concentração de coagulante químico (g/L)	0,75	0,75
Concentração de floculante (quiabo) (mL)	0,1	0,2
Concentração de corante (g/L)	0,075	0,075

Para este ensaio, os procedimentos para preparação das soluções de corante, alcalinizante, auxiliar de floculação e do coagulante químico foram os mesmos descritos no início deste trabalho, bem como a metodologia de ensaio.

Os resultados referentes ao ensaio com 0,1 mL da solução de quiabo (nível inferior) estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Resultados da melhor condição experimental com a concentração de auxiliar de floculação em 0,1 mL**

Parâmetro	Resultado Antes Do Tratamento			Resultados Após o Tratamento		
	A	B	Média	A	B	Média
Cor	169	190	179,5	5	7	6
pH	7,86	7,6	7,73	4,35	4,42	4,38
Turbidez	32,9	34,5	33,7	4,09	4,33	4,21
Volume do Lodo	-	-	-	35	40	37,5

Legenda – A: Amostra 1. B: Duplicata.

Os resultados que seguem na Tabela 5 são referentes ao ensaio com 0,2 mL de solução de quiabo (nível superior).

**Tabela 5 - Resultados da melhor condição experimental com a concentração de auxiliar de floculação em 0,2 mL**

Parâmetro	Resultado Antes Do Tratamento			Resultados Após o Tratamento		
	A	B	Média	A	B	Média
Cor	177	185	181	5	6	5,5
pH	7,8	7,75	7,77	4,29	4,67	4,48
Turbidez	33,5	33,2	33,35	3,80	4,36	4,08
Volume do Lodo	-	-	-	35	35	35

Legenda – A: Amostra 1. B: Duplicata.

Como já era esperado, a concentração do auxiliar de floculação não interferiu nos resultados dos ensaios, visto que os valores principalmente após o tratamento, são praticamente idênticos.

Outro fator que já era esperado são os excelentes resultados para a remoção de cor, aproximadamente 97% em ambos os ensaios, inclusive quando comparados com os dados obtidos nos primeiros ensaios, que apontavam como melhor resultado 83,78% de remoção.

O volume do lodo manteve-se na mesma média dos ensaios anteriores.

### 5.3 AVALIAÇÃO DO LODO RESIDUAL

O lodo gerado nas condições experimentais apresentadas na Tabela 2 foi caracterizado em função do volume, densidade, umidade, matéria orgânica e alumínio. Os resultados se encontram apresentados a seguir.

### 5.3.1 Volume de lodo gerado

A primeira avaliação feita foi em relação ao volume gerado, utilizando-se cones Imhoff (Figura 11). Para os ensaios da melhor condição experimental as amostras foram nomeadas, em todas as análises do lodo, em 1A e 1B para o primeiro ensaio com 0,1 mL da solução de quiabo, e em 2A e 2B para o segundo ensaio com 0,2 mL da solução de quiabo.



**Figura 11 - Avaliação do lodo residual em relação ao volume gerado utilizando-se Cones Imhoff**

Os melhores resultados desta análise foram alcançados nos ensaios realizados de acordo com a matriz codificada, obtendo-se a média de 45,5 mL de lodo. Com as concentrações de sulfato de alumínio em 0,75 g/L, do auxiliar de floculação em 0,1 e 0,2 mL e do corante em 0,075 g/L, as médias foram um pouco menores, porém, dentro do esperado. A Tabela 6 contém os resultados para essa avaliação.

**Tabela 6 - Resultados para o volume de lodo utilizando-se cones Imhoff nos ensaios com a melhor condição experimental**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Média</b>
<b>Ensaio 1</b>	35	40	37,5
<b>Ensaio 2</b>	35	35	35

Legenda – A: Amostra 1. B: Duplicata.

### 5.3.2 Densidade

Para o cálculo da densidade, o volume determinado foi de 10 mL. Na Tabela 7 estão apresentadas as massas de lodo e a densidade (que foi obtida utilizando-se a equação 1 descrita na metodologia):

**Tabela 7 - Resultados para a massa do lodo e para a densidade**

<b>Amostra</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Densidade (M/V)</b>
<b>1A</b>	9,20	0,920
<b>1B</b>	9,65	0,965
<b>2A</b>	9,37	0,937
<b>2B</b>	9,26	0,926

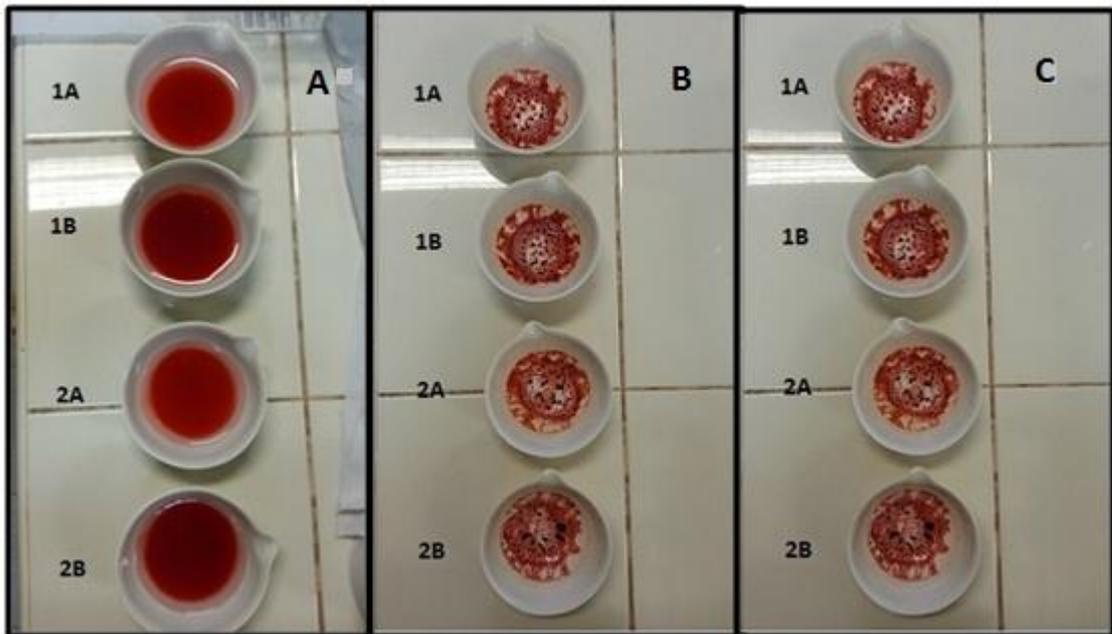
### 5.3.3 Umidade e Matéria Orgânica

Para as avaliações de umidade e matéria orgânica foi utilizado o método gravimétrico, conforme descrito por Herek et al. (2005). Os dados resultantes estão na Tabela 8.

**Tabela 8 - Resultados da umidade e matéria orgânica para o lodo residual**

<b>Amostra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>MO (%)</b>
<b>1A</b>	95,07	1,15
<b>1B</b>	95,55	1,11
<b>2A</b>	91,53	0,54
<b>2B</b>	98,70	3,12

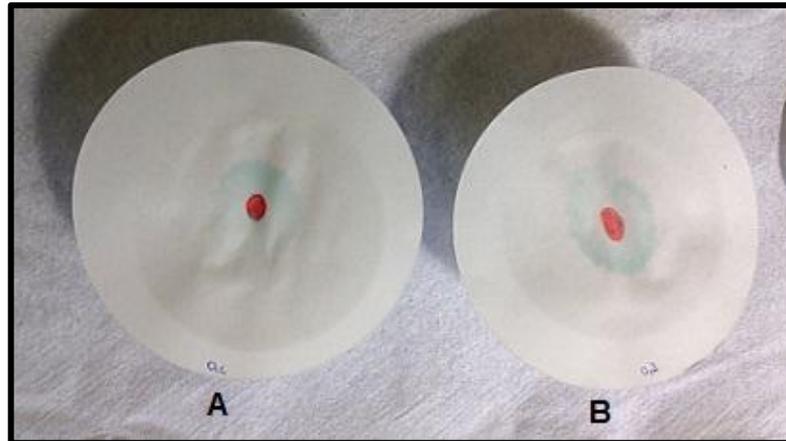
A Figura 12 ilustra as cápsulas de porcelana com o lodo ainda úmido e pronto para a primeira pesagem, as cápsulas com o material resultante das 16 horas de estufa (umidade) e as cápsulas com material resultante das outras 24 horas de estufa (matéria orgânica).



**Figura 12 - Amostras de lodo durante a análise se umidade e matéria orgânica**  
**A: Cápsulas de porcelana com lodo ainda úmido**  
**B: Cápsulas de porcelana após 16 horas de estufa**  
**C: Cápsulas de porcelana após mais 24 horas de estufa**

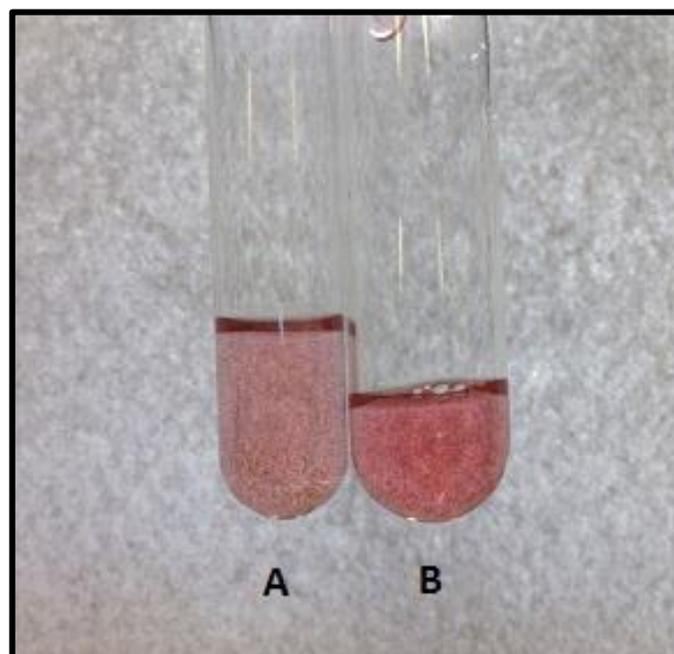
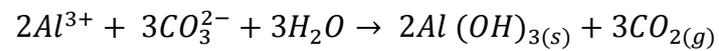
#### 5.3.4 Análise qualitativa da presença de alumínio

Os métodos qualitativos empregados para avaliar o lodo, comprovaram que o alumínio estava presente em ambos os casos. A cor azul aluminato de cobalto formado indica a presença de alumínio no lodo (Figura 13).



**Figura 13 - Resultados da avaliação do metal Al através do Azul de Thenard**  
**A: Análise para a amostra com 0,1 mL de solução de quiabo**  
**B: Análise para a amostra com 0,2 mL de solução de quiabo**

Uma reação qualitativa foi realizada entre o lodo e o carbonato de sódio. Conforme ilustra a Figura 14, ocorreu a formação de hidróxido de alumínio, conforme reação abaixo:



**Figura 14 – Resultados da avaliação do metal Al através de precipitação**  
**A: Análise para a amostra com 0,1 mL de solução de quiabo**  
**B: Análise para a amostra com 0,2 mL de solução de quiabo**

Portanto, a partir dos ensaios qualitativos pode-se observar que o lodo gerado continha alumínio.

Ainda é possível sugerir que a concentração de alumínio é maior no ensaio em que apresenta 0,1 mL da solução de quiabo. Porém, análises quantitativas teriam de ser realizadas para comprovar esta hipótese.

## 6 CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos com o planejamento fatorial é possível concluir que melhores resultados de remoção de cor e formação de lodo são alcançados com as concentrações de corante e coagulante químico nos níveis inferiores. A concentração da solução de quiabo no processo não foi significativa, o que não significa que a sua presença não seja importante. Nesse caso é indiferente manter a concentração de quiabo no nível inferior ou superior, ambas as concentrações contribuem da mesma forma no processo de remoção de cor e formação de lodo.

Desta forma, este trabalho demonstra que a aplicação da solução de quiabo como auxiliar de floculação é promissora para melhorar a remoção de cor de efluentes têxteis.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004. (2004). **Resíduos Sólidos** - Classificação. Rio de Janeiro, Brasil.

ABREU LIMA, G. J. **Uso de Polímero Natural do Quiabo como Auxiliar de Floculação e Filtração em Tratamento de Água e Esgoto**. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D.; Química Nova, 19, 320.1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. **Panorama do Setor Têxtil e de Confecções**. Brasília - DF, 2011. Disponível em: [http://abit.org.br/abitonline/2011/06\\_07/apresentacao.pdf](http://abit.org.br/abitonline/2011/06_07/apresentacao.pdf). Acesso em 22 nov. 2014.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2 ed., Campinas: Editora da Unicamp, 2003, p.117-123.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo: CETESB, 1979.

BRASIL, J. L.; VAGHETTI, J. C. P.; ROYER, B.; SANTOS JR, A. A.; SIMON, N. M.; PAVAN, F. A.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C. **Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se de casca de nozes pecã como biossorvente**. Química Nova, 30(3): 548-553. 2007.

BRASIL. Lei nº 9.605, De 12 de Fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Presidência da República – Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 12 fev. 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9605.htm) Acesso em: 27 maio 2015.

CARDOSO, Karina C. **Estudo do Processo de Coagulação/Floculação por Meio da *Moringa oleifera* Lam para Obtenção de Água Potável**. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil.2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Água, Indústria e Sustentabilidade**. Brasília – DF, 2013. Disponível em: <<http://arquivos.portaldaindustria.com.br/portlet/200/24216/20131024095229707263e.pdf>> Acesso em: 24 nov. 2014.

COOPER, P. **Removing colour from dye house waste waters a critical review of technology available**. Journal of the Society of Dyers and Colourist, v. 109, p. 97-101, 1993.

DELAMARE, F.; GUINEAU, B., **Colour – Making and using dyes and pigments**. Thanesand Hudson, 2000.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D. B., **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2ª ed. v. 1. São Carlos, RiMa, 2005.

DUENSER, H., Textile Wastewater Treatment. **Indian Textile Journal**, n. 102, p. 80-96, 1992.

FORTINO, P., **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas**. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, Brasil, 2012.

GALEMBECK, F.; CSORDAS, Y. **Cosméticos: A Química da Beleza**, 2004. Disponível em: [http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL\\_cosmeticos.pdf](http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_cosmeticos.pdf). Acesso em: 19 nov. 2014.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R., **Partial least-squares regression: a tutorial**. Analytica Chimica Acta, 185: 1-17. 1986.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B., **Corantes têxteis**, Química Nova, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

HALLER, M. **Tratamento de Efluentes**. Textília, p. 48-49, 1993.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. **Tratamento do Efluente de uma Indústria Têxtil. Processo Físico-Químico com Ozônio e Coagulação/Floculação**. Artigo Técnico. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Brasil, Vol. 7 - Nº 1 - jan/mar 2002.

HEREK, L. C. S.; BERGAMASCO, R.; TAVARES C. R. G.; UEMURA V. O.; PANCOTTE L. P. **Estudo da Solidificação/Estabilização do Lodo da Indústria Têxtil em Material Cerâmico**, 2005, Cerâmica Industrial.

KUNZ, A.; ZAMORA, P. P., MORAES, S. G.; DURÁN, N., **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**, Química Nova, Curitiba – Paraná, vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.

MAZZER, C.; CAVALCANTI, O. A. **Introdução à Gestão Ambiental de Resíduos**. Infarma, v.16, n. 11-12, 2004.

MENDES, M. R. **Desenvolvimento de agregados leves a partir de subproduto da mineração de carvão e de lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria têxtil**. Monografia (Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais). Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

MORAES, L. C. K, **Estudo da Coagulação-Ultrafiltração com o Biopolímero Quitosana para a Produção de Água Potável**, Dissertação de M.Sc., Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná, Brasil. 2004.

MORETTO, S. R. O.; PUPPI, R. F. K.; PEGORINI, E. S.; INOUE, P. S.; OLIVEIRA, G.G. de **Medidas da densidade do lodo proveniente de digestão anaeróbia**. 2011.

RESENDE, L. P., **Reuso na indústria têxtil e lavanderias**, Revista Hydro, 2012. Disponível em: <http://sindlav.com.br/wp-content/uploads/2012/05/H66-Especial.pdf> Acesso em: 18 nov. 2014.

SALLES, P. T. F.; PELEGRINI, N. N. B.; PELEGRINI, R. T. **Tratamento Eletroquímico de Efluente Industrial Contendo Corantes Reativos, Engenharia Ambiental Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 2, p. 25-40, jul./dez., 2006.

SILVEIRA, S. S. B.; SANTANNA, F. S. P. **Poluição Hídrica**. In: MARGULIS, S. (Ed) **Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. Brasília, DF: PNDU/ IPEA, p. 57- 84, 1990.

STUMM, W., MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3ed. 1022 p. New York, John Wiley & Sons. 1996.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e disposição final de lodos de estações e tratamento de água do Estado de São Paulo.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba. Anais... ABES: João Pessoa. 2001.

TWARDOKUS, R. G., **Reuso de Água no Processo de Tingimento da Indústria Têxtil.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. Florianópolis, 2004.

VAITSMAN, D. S.; BITTENCOURT, O. A., **Ensaio Químico Qualitativo.** 14ed. Pág. 38. Rio de Janeiro, 1944.

VASQUES, A. R. **Caracterização e Aplicação de Adsorventes para Remoção de Corantes de Efluentes Têxteis em Batelada e Colunas de Leito Fixo.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. Florianópolis, 2008.

ZOLLINGER, H. **Color chemistry - Syntheses, properties and applications of organic dyes pigments.** New York, NY: VCH. 83-148 p. 1987.