

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

BRUNA CAROLINE DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE *Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH COMO
AUXILIAR NATURAL DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE
SOLUÇÕES COM CORANTE TÊXTIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

BRUNA CAROLINE DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE *Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH COMO
AUXILIAR NATURAL DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE
SOLUÇÕES COM CORANTE TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), 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

AVALIAÇÃO DE *Abelmoschus esculentus* (L.) MOENCH COMO AUXILIAR NATURAL DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE SOLUÇÕES COM CORANTE TÊXTIL

por

BRUNA CAROLINE DE LIMA

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.

Profa. Dra. Flávia Vieira da Silva Medeiros

Prof. Dr. Nelson Consolin Filho

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira

Dedico este trabalho à toda minha amada família, que jamais deixou de acreditar no meu potencial e me fez chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e acima de tudo, dou graças ao “Pai do céu” que me concedeu o que há de mais valioso: o dom da vida. Que não se cansa de encher meus dias de bênçãos. E que me permitiu chegar até aqui com força, saúde e sabedoria.

À maior riqueza que possuo, toda minha família. Em especial meus pais, Gilmar e Sandra, que nunca pouparam esforços para que eu chegasse até aqui, nunca me deixaram faltar nada, sempre tirando de si pra que eu não passasse necessidade. Que além de me sustentarem financeiramente, me sustentaram no amor. Aos meus irmãos Vini, Guila e Pedrão pelo carinho e apoio de sempre. E à minha tia Zezi que sempre me ajudou, encorajou, não me permitindo desanimar.

Ao meu namorado Rafael, meu companheiro desde antes da vida acadêmica. Agradeço pela paciência, amor e compreensão que sempre dedicou a mim. Me confortando em todos os momentos de tribulações enfrentados.

Agradeço a todos os professores do Departamento Acadêmico de Ambiental pelo profissionalismo na transmissão do conhecimento. De uma forma muito especial, à minha orientadora Flávia, que me conduz a quase três anos, muito obrigada pela dedicação, persistência e paciência. Mais que uma orientadora, uma inspiração como profissional. Também à professora Patrícia Valderrama que contribuiu imensamente para a realização e enriquecimento desse trabalho, obrigada pela atenção e disponibilidade.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, pelos equipamentos e toda estrutura física fornecida para a realização deste trabalho. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro à pesquisa.

Aos amigos que em Campo Mourão conquistei e me conquistaram, em especial minhas parceiras de moradia, tanto da Rep Per (Fabi, Mirna, Gigli e Yumi) que convivi durante quase toda a permanência na cidade, quanto da Humilde Residência (Lah e Gi), que me acolheram com tanto carinho nos últimos meses de faculdade. Vocês foram essenciais durante esses cinco anos. Levarei todas vocês comigo com muito carinho.

Aos amigos antigos de Paranavaí, que mesmo longe, sei que sempre torceram por mim. E ao grupo JUC, família que Deus me deu, que me fortaleceram em oração.

À todos, meu sinceros e profundos agradecimentos!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.” (Charles Chaplin).

RESUMO

LIMA, B. C. Avaliação de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench como auxiliar natural de floculação no tratamento de soluções com corante têxtil. 2015. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Os polímeros naturais apresentam diversas vantagens quando utilizados como auxiliares de coagulação e floculação. Especificamente neste trabalho, avaliou-se o emprego do biopolímero dos frutos maduros de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (quiabo) como auxiliar de floculação na remoção de cor de soluções aquosas de alaranjado de metila (corante têxtil). Primeiramente o comprimento de onda da solução 0,15 g/L de alaranjado de metila foi determinado por meio de varredura espectral, como sendo 458 nm. A curva de calibração para soluções com diferentes concentrações do corante também foi determinada por este método. Utilizando um planejamento fatorial 2^3 , foram realizados ensaios variando as concentrações de coagulante químico, corante e auxiliar de floculação. Os melhores resultados de remoção de cor e geração de lodo foram obtidos quando as concentrações de coagulante e corante estavam no nível inferior. Em seguida, utilizou-se o método de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). Para identificar quais coeficientes de regressão foram significativos, uma curva de distribuição de probabilidade normalizada foi avaliada, juntamente com a avaliação da superfície de resposta e as equações dos modelos para selecionar a melhor condição experimental que promovesse a melhor remoção de cor e a maior quantidade de formação de lodo. Com essa metodologia pode-se confirmar que os melhores resultados são alcançados com as concentrações de corante e coagulante químico nos níveis inferiores e ainda mostrou que a concentração de quiabo não interferiu nos resultados de forma significativa. Assim, determinou-se a melhor condição experimental para a realização de novos ensaios, sendo: 0,75 g/L de coagulante químico, 0,075 g/L de corante, e para efeito de comparação, foram avaliadas as concentrações de 0,1 e 0,2 % para o auxiliar de floculação. Por fim, caracterizou-se físico-quimicamente a solução tratada quanto à cor, pH e turbidez e o lodo residual quanto ao volume, densidade, pH, umidade, matéria orgânica e alumínio. Com os resultados obtidos no trabalho, foi possível concluir que melhores valores de remoção de cor e formação de lodo são adquiridos com o corante e o coagulante químico nos níveis inferiores de concentração. A aplicação do auxiliar de floculação foi significativa, porém a concentração utilizada foi indiferente para a remoção de cor e formação de lodo.

Palavras chaves: Quiabo. Auxiliar de Floculação. Efluente Têxtil. Alaranjado de Metila.

ABSTRACT

LIMA, B.C. Evaluation of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench as natural flocculation auxiliary in the treatment of solutions with textile dye. 2015. 48f. Graduation Completion Work of the Environmental Engineering course, Federal Technological University of Paraná. Campo Mourao, 2015.

Natural polymers have several advantages when used as coagulation and flocculation auxiliary. Specifically in this work, we evaluated the use of biopolymer found in ripe fruits of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (okra) as flocculation auxiliary in the removal of color in the aqueous solutions of methyl orange (textile dye). First, the wavelength of the 0.15 g / L methyl orange solution was determined by spectral scanning as being 458 nm. The calibration curve for solutions with different dye concentrations were also determined by this method. Using a factorial design 2^3 , tests varying the concentration of chemical coagulant, dye and flocculation auxiliary were performed. The best results for color removal and sludge generation were obtained when the coagulant concentrations and dye were at the lowest levels. Then, the regression method by partial least squares (PLS) was used. To identify what regression coefficients were significant, a normalized probability distribution curve was analyzed with the evaluation of the response surface and the equations models to select the best experimental conditions that promote the best color removal and the greatest amount of sludge formation. With this methodology, could be confirmed that the best results are achieved when dye concentrations and chemical coagulant are in the lowest levels, and even showed that the concentration of okra do not affect the results significantly. Therefore, was determined that the best experimental condition to perform further tests were 0.75 g/L of chemical coagulant, 0.075 g/L of dye, and for comparison, were evaluated concentrations of 0.1 and 0.2 % for the flocculation auxiliary. Finally, the treated solution was physical-chemistry characterized by the color, pH and turbidity and the waste sludge by volume, density, pH, moisture, organic matter and aluminum. With the obtained results, was concluded that the best color removal values and sludge formation are acquired with the dye and chemical coagulant at the lowest concentration levels. The application of flocculating auxiliary was significant, but the used concentration was irrelevant for the color removal and sludge formation.

Key words: Okra. Flocculation Auxiliary. Textile effluent. Methyl orange.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento fatorial 2^3 para realização dos ensaios.	22
Tabela 2 - Matriz codificada e coeficientes de contraste para um planejamento fatorial 2^3	23
Tabela 3 – Resultados de cor obtidos na realização do planejamento fatorial 2^3	31
Tabela 4 – Resultados de produção de lodo obtidos na realização do planejamento fatorial 2^3	32
Tabela 5 - Condição experimental adotada para os ensaios finais para caracterização da solução tratada e do lodo gerado	38
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros avaliados da melhor condição experimental.....	39
Tabela 7 - Resultados obtidos nas análise dos parâmetros do lodo.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frutos de <i>Abelmoschus esculentus</i> (quiabo), dos quais são extraídos polímeros que podem ser usados como auxiliar de coagulação e floculação.	11
Figura 2. Estrutura molecular do alaranjado de metila.	15
Figura 3 - Aspecto do corante alaranjado de metila utilizado em todos os ensaios.	20
Figura 4 – <i>Jar Test</i> modelo 218/LDB 06 de seis provas da marca Nova Ética, que foi utilizado para os ensaios de coagulação, floculação e decantação.	21
Figura 5 – Aspecto dos cones Imhoff, utilizados para mensurar o volume do lodo gerado.	26
Figura 6 – Balões volumétricos com as soluções de diferentes concentrações de corante, utilizados para a determinação da curva da calibração.	30
Figura 7 - Curva de calibração e a reta de ajuste linear, determinadas pela varredura realizada com o alaranjado de metila no espectrofotômetro.	30
Figura 8 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na remoção de cor (1-média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-Q, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7-Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ ² , 10-Q ² , 11-C ²).	34
Figura 9 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na formação de lodo. (1-média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-Q, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7-Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ ² , 10-Q ² , 11-C ²).	34
Figura 10 - Superfície de resposta para o modelo obtido na remoção de cor quando a concentração de quiabo estava no nível superior.	35
Figura 11 - Superfície de resposta para o modelo obtido na remoção de cor quando a concentração de quiabo foi mantida no nível inferior.	36
Figura 12 - Superfície de resposta para o modelo obtido na formação de lodo quando a concentração de quiabo estava no nível superior.	37
Figura 13 - Superfície de resposta para o modelo obtido na formação de lodo quando a concentração de quiabo foi mantida no nível inferior.	37
Figura 14 - Avaliação do lodo em relação ao volume gerado com o uso de cones Imhoff.	40
Figura 15 - Aspectos das amostras de lodo nos ensaios de umidade e matéria orgânica.	41
Figura 16 – Aspecto das amostras de lodo submetidas à metodologia do Azul de Thenard. A: Análise da amostra com 0,1 % de solução de quiabo. B: Análise da amostra com 0,2 % de solução de quiabo.	42
Figura 17 - Aspecto das amostras de lodo submetidas à metodologia do Carbonato de sódio.	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	13
3.2 CORANTE TÊXTIL	14
3.2.1 Alaranjado de Metila	15
3.2.2 Efluente Com Corante e o Ambiente.....	16
3.3 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO.....	17
3.4 POLÍMEROS NATURAIS NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES	17
3.5 QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES	19
4.1.1 Soluções Aquosas de Corante	19
4.1.2 Soluções utilizadas nos Ensaio de Coagulação/Floculação	20
4.2 AVALIAÇÕES DA REMOÇÃO DE COR E DA GERAÇÃO DE LODO	21
4.3 DETERMINAÇÃO DAS MELHORES CONDIÇÕES PELO PLANEJAMENTO FATORIAL 2 ³	23
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CORANTE.....	24
4.4.1 Cor	24
4.4.2 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	25
4.4.3 Turbidez.....	25
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO	26
4.5.1 Volume do Lodo.....	26
4.5.2 Densidade	27
4.5.3 Teor de Umidade e Matéria Orgânica	27
4.5.4 Alumínio.....	28
4.5.4.2 Carbonato de sódio	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 CURVA DE CALIBRAÇÃO.....	30
5.2 REMOÇÃO DE COR DAS SOLUÇÕES AQUOSAS DE CORANTE E PRODUÇÃO DE LODO	31
5.2.1 Remoção de Cor	31
5.2.2 Lodo gerado.....	32
5.3 DETERMINAÇÃO DAS MELHORES CONDIÇÕES PELO PLANEJAMENTO FATORIAL 2 ³ E ANÁLISE MULTIVARIADA.....	32
5.4 CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CORANTE TRATADA.....	39
5.5 CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO	39
5.5.1 Alumínio.....	41
6 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional desordenado e o desenvolvimento industrial desenfreado têm como consequências sérios prejuízos ecológicos, higiênicos e até mesmo estéticos. Santos (1997) relata em seu trabalho que, apesar da progressiva conscientização de que se deve estagnar a destruição do ambiente, muito ainda tem e pode ser feito para minimizar ou eliminar este tipo de degradação ambiental.

Dando enfoque no setor têxtil, Santos (1997) expõe que a água é um dos elementos básicos para o processo de produção desta indústria, principalmente nas etapas de beneficiamento da malha de algodão, onde ocorre o tingimento da malha o qual provoca modificações na qualidade da água utilizada, devido às substâncias químicas que fazem parte do processo.

Kunz et al. (2002), destacam o consumo de água e a geração de efluentes com elevada carga orgânica (amido, sabões, agentes engomantes) e de corantes, como sendo os impactos mais significativos na indústria têxtil. Estimam que em torno de 20% da carga de corantes é perdida nos resíduos de tingimento, o que representa uma das maiores complicações ambientais enfrentadas pelo setor têxtil. O Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado do Ceará (COEMA, 2004) define as atividades de fiação e tecelagem desta indústria como de médio potencial poluidor degradador, quando ocorrem sem tingimento, e de alto potencial poluidor degradador, quando o processo inclui tingimento ou tintura.

A contaminação de corpos hídricos por esses efluentes com corantes têxteis, leva ao consumo do oxigênio dissolvido, afetando diretamente a vida aquática além de ser altamente prejudicial aos organismos fotossintetizantes (SHARKAWY et al., 2007).

A ampla variedade e complexidade desses efluentes, aliadas a determinações da legislação que exigem tratamentos eficientes, têm levado à criação de novas tecnologias que buscam o tratamento melhor e mais adequado, ponderando despesas, tempo e eficiência. A coagulação e a floculação são técnicas muito utilizadas neste caso.

Lima (2007) em sua dissertação de mestrado inferiu que os polímeros naturais usados como coagulantes ou como auxiliares de coagulação, floculação e filtração estão em evidência entre estes produtos químicos e diz que o uso do biopolímero do *Abelmuoschus eschulentus* (L.) Moench (quiabo) (Figura 1), como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de águas e de efluentes confere melhoria à qualidade das águas tratadas. O autor

explica que a eficiência da sedimentação, da flotação e da filtração, é ampliada devido ao uso de polímero natural que torna os flocos mais resistentes às forças de cisalhamento, aumenta a velocidade de sedimentação ou de flotação e intensifica a aderência no meio filtrante.

O quiabo, como auxiliar de floculação, tem boa performance e também maior possibilidade de utilização, devido à forma de comercialização deste vegetal, em que o consumidor rejeita o fruto maduro. Quando moído, do pó se faz a solução, que é dosada em conjunto com os coagulantes metálicos de alumínio e ferro, melhorando a eficiência da floculação e das etapas posteriores, como sedimentação ou flotação, filtração e desinfecção (LIMA, 2007).



Figura 1 – Frutos de *Abelmoschus esculentus* (quiabo), dos quais são extraídos polímeros que podem ser usados como auxiliar de coagulação e floculação.

Fonte: Adaptado de <http://www.aphcemg.org.br>.

Com base nessas informações, este trabalho objetiva analisar a utilização de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (quiabo) como auxiliar de floculação na remoção de cor de soluções aquosa de corante e também avaliar o lodo gerado neste processo. Desta forma, a elaboração desta pesquisa anseia contribuir de maneira expressiva para o avanço das tecnologias destinadas ao tratamento de efluentes, possibilitando a redução da concentração de produtos químicos, originando assim, processos que proporcionam melhor qualidade do efluente tratado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo principal avaliar a aplicação de *Abelmoschus esculentus* (quiabo) como auxiliar de floculação na remoção de cor de soluções aquosas de corante e também avaliar o lodo gerado neste processo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar em quais concentrações o coagulante químico e o auxiliar de floculação combinados são mais eficiente na remoção de cor da solução do corante alaranjado de metila;
- Realizar uma avaliação multivariada das condições experimentadas para obter a máxima remoção de cor e produção de lodo;
- Caracterizar físico-quimicamente a solução de corante, antes e depois dos processos de coagulação e floculação com o intuito de comparar os resultados e obter maiores considerações a respeito da eficiência do tratamento;
- Caracterizar o lodo gerado no final do tratamento, dos ensaios com as melhores condições.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Na procura por alternativas para tratar águas contaminadas por diversos poluentes, tem-se optado por recursos que abranja eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, pouco tempo demandado no processo e menores custos.

Grandes preocupações existem em relação à poluição dos corpos hídricos e ao abusivo consumo de água. Essa concepção envolve principalmente o âmbito do tratamento de efluentes, onde se associam parâmetros físico-químicos para determinar a qualidade permitida para o lançamento do efluente em cursos d'água, bem como para o reúso do mesmo, atentando-se sempre para o nível de tratamento necessário para atingir tal eficiência na remoção da carga poluidora de um efluente industrial bruto.

3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil - ABIT (2011), o Brasil é a sexta maior potência do mundo e a principal do Ocidente no setor. Ele é o único país da América do Sul com posição de destaque na produção têxtil mundial. O país é responsável por 2,4% da produção mundial de têxteis e é o quarto maior produtor de vestuário com 2,6% da produção mundial.

De acordo com Leão et al. (2002), a maioria das empresas do setor têxtil é de pequeno e médio porte, ainda que 80% a 90% do faturamento e a maior parcela da produção desse setor sejam devido às atividades industriais de grande porte. O autor ainda diz que os investimentos realizados nesses empreendimentos são provenientes essencialmente do capital nacional, sendo que a região sudeste concentra a maioria dessas indústrias, seguida das regiões sul e nordeste do país.

Dentro da indústria têxtil o processo de tingimento é um dos fatores fundamentais no sucesso comercial dos seus produtos. Na visão de Guarantini e Zanoni (2000), além da padronagem e beleza da cor, o consumidor exige algumas características básicas do produto, como: elevado grau de fixação em relação à luz, lavagem e transpiração, tanto inicialmente quanto após uso prolongado. Para garantir essas propriedades, as substâncias que conferem

coloração à fibra devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda apresentar-se viável economicamente.

3.2 CORANTE TÊXTIL

A coloração de tecidos é uma arte que já acontece há milhares de anos e hoje a disponibilidade comercial de corantes é vasta. A tecnologia atual de tingimento abrange diversas etapas que são escolhidas conforme a natureza da fibra têxtil, características estruturais, classificação e disponibilidade do corante para aplicação, propriedades de fixação compatíveis com o destino do material a ser tingido, considerações econômicas e muitas outras. Em virtude dessa demanda, estimam que, atualmente dois mil tipos de corantes estão disponíveis para a indústria têxtil. Essa diversidade é justificada, uma vez que cada tipo de fibra a ser colorida requer corantes com características próprias (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

Paula e Braga (2011) esclarece que os corantes têxteis são materiais que aderem às fibras do substrato têxtil, reagindo ou não com o material, durante o processo de tingimento. A fixação da molécula cromofórica ao substrato vai depender dos elementos que a controlam, esses elementos formam a base para que ocorra a separação de corantes em categorias. Para cada tipo de fibra, uma determinada categoria de corante:

- Para as fibras celulósicas, como o algodão e o rayon, são aplicados os corantes reativos, diretos, azóicos, à tina e sulfurosos;
- Para fibras sintéticas, deve-se distinguir entre as fibras e os corantes aplicados, principalmente no caso de: Poliéster – corantes dispersos; Acrílicos – corantes básicos; e Nylon (poliamida) – corantes ácidos;
- Para fibras como a seda, são aplicados corantes reativos;
- E para a lã, corantes ácidos e reativos.

Os corantes orgânicos sintéticos (COS) compõem uma importante classe de compostos químicos sendo largamente empregados nos mais variados setores industriais, tais como: têxtil, impressão, farmacêutica, cosmética, etc. Uma das características básicas dos corantes é a estabilidade de suas moléculas. Essa propriedade é essencial para a permanência das cores nos tecidos e tem relação com a sua estrutura complexa e origem sintética (CADORIM, 2012).

Os COS podem ser classificados de acordo com sua estrutura química em seis diferentes classes: azo, antraquinonas, sulfurosos, índigoides, trifenilmetanos e triftalocianinas, sendo em torno de 70% de todos os corantes reativos, são do tipo azo (CADORIM, 2012).

Cadorim (2012) ainda enfatiza que os corantes azos são tóxicos à saúde humana, e podem apresentar riscos nocivos ao meio ambiente se forem descartados sem tratamento adequado.

3.2.1 Alaranjado de Metila

A substância química alaranjado de metila é um composto orgânico de fórmula $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ e de nomenclatura IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) 4-Dimetilaminoazobenzeno-4-sulfônico, sal de sódio, ocorrendo na forma de pó cristalino na temperatura ambiente, de coloração amarelo alaranjado, praticamente inodoro; solúvel em água e insolúvel em álcool é usualmente usada como indicador em titulações (FISPQ, 2005).

De acordo com Gomes (2013), este corante possui aplicação industrial e apresenta grande disponibilidade laboratorial. O alaranjado de metila, pertence à classe de corante azo, a qual é caracterizada pela ligação dupla $N=N$ entre anéis aromáticos ($Ar-N=N-Ar$), sua fórmula molecular está ilustrada na figura 2.

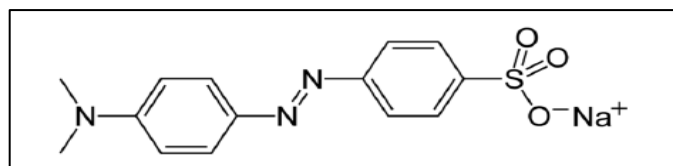


Figura 2. Estrutura molecular do alaranjado de metila.
Fonte: Gomes (2013, P. 23)

3.2.2 Efluente Com Corante e o Ambiente

Kunz et al. (2002), afirmam que o setor têxtil merece destaque, 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.

Guarantini e Zanoni (2000) inferem que, da visão ambiental, a remoção dos corantes sintéticos é um grande problema, uma vez que alguns corantes e seus produtos de degradação podem ser tóxicos e ainda comprometer a fotossíntese, já que impedem a penetração de luz na água. Esses autores estimam que aproximadamente 15% da produção mundial de corantes é perdida para o ambiente durante a síntese, processamento ou aplicação destes. Fato muito preocupante considerando-se que essa porcentagem representa 1,2 toneladas de perda por dia destes poluentes para o ambiente. Isso porque esses valores correspondem à fixação incompleta dos corantes (10% a 20% do corante não se fixa na fibra) durante a etapa de tingimento das fibras têxteis.

Na perspectiva de Rott e Minke (1999), a principal característica do efluente têxtil é a presença de altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes, sólidos suspensos e matéria orgânica, principalmente na forma de moléculas complexas de corantes.

Garcia et al. (2007), complementam explicando que, a cor de uma amostra de água é descrita como sendo o decaimento da passagem de luz, devido à presença de substâncias orgânicas e inorgânicas na forma coloidal. Os efluentes têxteis são caracterizados por causar o aumento gradativo da cor das águas naturais causando efeitos negativos em sua aparência. A matéria orgânica presente nas águas naturais está diretamente associada à toxicidade e carcinogenicidade de compostos já citados aqui anteriormente como surfactantes, sólidos suspensos, bem como em organoclorados e outros que podem estar presentes em efluentes têxteis.

3.3 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

Diante da problemática do efluente têxtil, surge a necessidade de tecnologias eficientes e de baixo custo. As principais técnicas disponíveis para o tratamento de efluentes têxteis envolvem processos de coagulação, floculação, separação por membranas, adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica, fotoquímica e biodegradação (FORTINO, 2012).

De acordo com Vaz (2009), o processo de coagulação/floculação tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez). Essa operação normalmente é considerada como um pré-tratamento que objetiva o condicionamento do despejo para o tratamento subsequente.

Richter (2009), diz que frequentemente os termos “coagulação” e “floculação” são usados na literatura como sinônimos, no entanto ele próprio mostra a diferença entre os termos. Explica que a coagulação é a alteração físico-química de partículas coloidais de uma água, caracterizada principalmente por cor e turbidez, que produz partículas que possam ser removidas por um processo físico de separação. E ainda apresenta a floculação como uma fase subsequente da coagulação, que promove colisões entre as partículas previamente desestabilizadas na coagulação, por efeito de transporte de fluido, formando partículas de maior tamanho, os flocos, que são visíveis a olho nu.

3.4 POLÍMEROS NATURAIS NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES

Como alternativa aos polímeros sintéticos, é possível utilizar polímeros naturais, que apresentam menor custo e não representam riscos à saúde humana. Quando usados em conjunto com o sulfato de alumínio, esses produtos podem reduzir a dosagem deste coagulante metálico, com mesma eficiência de remoção de particulados e matéria orgânica natural, possibilitando menores concentrações de alumínio residual na água tratada, minimizando a possibilidade de danos neurológicos que estes íons possam provocar (LIMA, 2007; CARDOSO, 2007).

Como auxiliares de coagulação e de floculação, os polímeros naturais apresentam vantagens, tais como: melhoria da qualidade da água decantada e filtrada, redução do

consumo do coagulante primário, redução dos gastos com produtos químicos, redução no volume do lodo no decantador, aumento da eficiência da desinfecção como consequência da redução da concentração de sólidos suspensos na água filtrada, diminuição da ocorrência da deposição de lodo na rede e nos reservatórios de distribuição (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Polímeros têm sido usados como auxiliares em tratamento de água desde o início da década de 50, principalmente na coagulação e floculação, sendo a maior vantagem do uso destes auxiliares o desenvolvimento dos flocos mais resistentes às forças de cisalhamento (LIMA, 2007).

Vaz (2009) ainda diz que devido à inconvenientes do uso de produtos químicos no processo de coagulação e floculação, a citar, a geração de um lodo químico não biodegradável, pesquisas têm apontado o uso de biopolímeros no tratamento de diversos tipos de efluentes. Dentre os vários estudados, destaca-se o polímero natural do quiabo.

3.5 QUIABO COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO

Abelmoschus esculentus (L.) Moench (quiabo) pertence à família Malvaceae, trata-se de uma planta arbustiva anual, com caule ereto esverdeado ou avermelhado, e atinge de 1 a 1,7 metros de altura. É uma hortaliça de clima quente e por isso é um dos cultivares mais bem adaptados ao clima tropical brasileiro. Temperaturas baixas causam danos aos frutos e impedem seu pleno crescimento (LIMA, 2007).

O quiabo, maduro é rejeitado pelo consumidor deste fruto, é estável, sendo produto apropriado para uso em tratamento de água e de efluentes como auxiliar de floculação por ser polímero aniônico. Pode ser 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, sendo esta última a forma mais simples de utilização (LIMA, 2007).

De acordo com Agarwal et al. (2001, 2003), o quiabo possui um polissacarídeo aniônico, que pode ser usado como floculante e por ser polímero natural, é virtualmente biodegradável. Não é tóxico, é estável e tende a ser intensivamente usado no tratamento de águas de abastecimento, de esgoto doméstico e de efluentes de curtume.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento (LABSAN) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão. Para a realização deste trabalho, a metodologia foi dividida em quatro etapas: (1) Preparação das soluções; (2) Avaliações da remoção de cor e da geração de lodo; (3) Determinação das melhores condições pelo planejamento fatorial 2^3 ; (4) Caracterização da solução de corante; (5) Caracterização do lodo gerado.

4.1 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES

Para realização desta proposta, foram preparadas soluções aquosas do corante alaranjado de metila e também as soluções que foram utilizadas no processo de coagulação/floculação.

4.1.1 Soluções Aquosas de Corante

A solução aquosa foi preparada com o corante alaranjado de metila (Figura3) (fórmula química = $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$; FW = 327,34 g/mol; natureza = vermelho em pH na faixa 3,2 - 4,4; $\lambda_{máx}$ = 458 nm), nas concentrações de 0,05 e 0,15 g/L (0,05 e 0,15 g de corante dissolvido em 1 litro de água de torneira). O corante foi usado sem qualquer purificação adicional para preparar a solução.

O comprimento de onda foi determinado na concentração de 0,15 g/L pelo método da varredura no espectrofotômetro. Posteriormente uma curva de calibração foi determinada para soluções com diferentes concentrações do corante utilizado.



Figura 3 – Aspecto do corante alaranjado de metila utilizado em todos os ensaios.

4.1.2 Soluções utilizadas nos Ensaios de Coagulação/Floculação

Sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) foi utilizado como coagulante químico e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) como alcalinizante.

Como a dispersão do coagulante é facilitada quando se dilui a solução aplicada a um valor suficientemente baixo (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991), as soluções de coagulante químico e de alcalinizante foram preparadas com concentrações de 1% (v/v).

O coagulante químico foi aplicado diretamente na solução de corante a ser tratada, nas concentrações determinadas no planejamento experimental (0,5 e 1,5%).

A solução de alcalinizante foi preparada diluindo-se 1 mL de uma solução saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em 100 mL de água destilada, utilizando-se um balão volumétrico. Em todos os ensaios manteve-se constante a quantidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sendo 5 mL da solução preparada.

Para a preparação da solução padrão do auxiliar de floculação (quiabo), os frutos foram expostos ao sol por três dias, triturados e moídos. Foi dissolvido 0,1 g do quiabo moído em 100 mL de água destilada em balão volumétrico, que resultou em uma solução 0,1% (m/v), de acordo com metodologia descrita por Lima (2007). As concentrações testadas foram determinadas no planejamento experimental (0,1 e 0,2%).

A solução de quiabo foi utilizada em até 12 horas após o preparo, pois os polímeros de origem natural podem ser susceptíveis à degradação ou contaminação.

4.2 AVALIAÇÕES DA REMOÇÃO DE COR E DA GERAÇÃO DE LODO

Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados em equipamento de *Jar Test* modelo 218/LDB 06 de seis provas da marca Nova Ética (Figura 4), com regulador de rotação das hastes misturadoras.

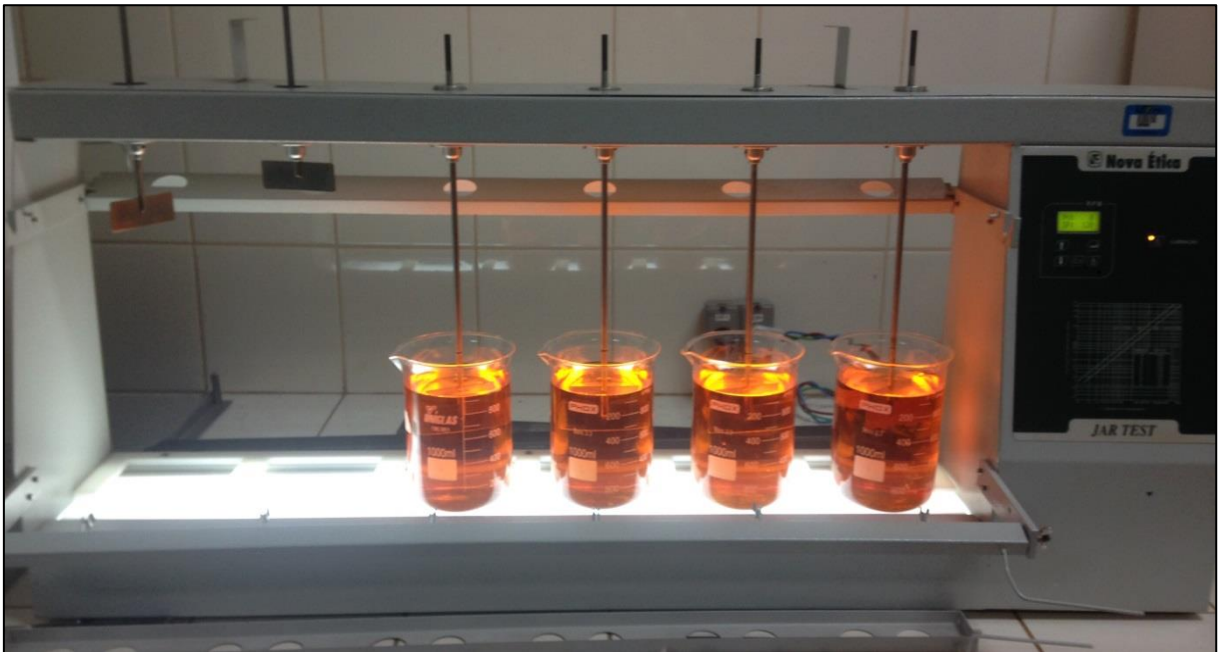


Figura 4 – *Jar Test* modelo 218/LDB 06 de seis provas da marca Nova Ética, que foi utilizado para os ensaios de coagulação, floculação e decantação.

Em cada jarro, foi adicionado 1 L da solução aquosa de corante nas concentrações de 0,15 g/L ou 0,05 g/L, 5 mL de da solução alcalinizante, coagulante químico nas concentrações 1,5 ou 0,5% e a solução padrão de quiabo nas concentrações 0,1 ou 0,2%, sempre com o auxílio de pipeta automática. Inicialmente a mistura foi agitada e posteriormente mantida em repouso. A temperatura das amostras foi mantida entre 25,0 e 30,0°C, próxima à temperatura ambiente, para realização dos ensaios.

Os ensaios foram realizados de acordo com o planejamento fatorial 2^3 , de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento fatorial 2³ para realização dos ensaios.

Ensaio	Concentração de Coagulante químico	Concentração de Quiabo	Concentração de Corante
1	0,5%	0,1%	0,05g/L
2	1,5%	0,1%	0,05g/L
3	0,5%	0,2%	0,05g/L
4	1,5%	0,2%	0,05g/L
5	0,5%	0,1%	0,15g/L
6	1,5%	0,1%	0,15g/L
7	0,5%	0,2%	0,15g/L
8	1,5%	0,2%	0,15g/L

Para garantir homogeneização adequada, o alcalinizante foi adicionado um minuto antes de iniciar a mistura rápida. Por se tratar de um auxiliar aniônico, a solução de quiabo em pó foi adicionada nas amostras de água depois de iniciada a etapa de floculação, aproximadamente 4 minutos após a coagulação (LIMA, 2007).

As velocidades e os tempos de mistura rápida e mistura lenta foram fixados conforme disposto no quadro 1.

Parâmetros de mistura rápida	Velocidade = 180 rpm
	Tempo= 1 min
Parâmetros de mistura lenta	Velocidade = 30 rpm
	Tempo= 10 min

Quadro 1 - Parâmetros de mistura rápida e mistura lenta.

Após os processos de coagulação e floculação, o equipamento de *Jar Test* foi desligado, e as amostras mantidas em repouso por 10 min, para que ocorresse a sedimentação do material floculado. Em seguida, foram coletadas amostras das soluções aquosas de corantes antes e após o tratamento, para verificar a eficiência do processo em relação à remoção de cor. A leitura da cor (absorbância) foi realizada no espectrofotômetro com os comprimentos de onda obtidos na varredura espectral, e todos os ensaios foram realizados em duplicata. E a geração de lodo foi analisada com a utilização de cones Imhoff.

Para determinar as melhores concentrações, foram observados os aspectos de maior remoção de cor e maior geração de lodo, pois esses comportamentos implicam em melhores condições da solução tratada.

4.3 DETERMINAÇÃO DAS MELHORES CONDIÇÕES PELO PLANEJAMENTO FATORIAL 2³

Na execução de planejamentos fatoriais completos, os experimentos são feitos com todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores (BARROS NETO et al., 2003). Nesse trabalho foi realizado um planejamento fatorial 2³, de acordo com a matriz codificada apresentada na tabela 2. Nesse planejamento foram avaliados os efeitos das concentrações de coagulante químico, floculante e corante em dois níveis, um nível inferior (0,5; 0,1 e 0,05 g/L, respectivamente) e superior (1,5; 0,2 e 0,15 g/L, respectivamente).

Tabela 2 - Matriz codificada e coeficientes de contraste para um planejamento fatorial 2³.

Média	CQ	Q	C	CQ*Q	CQ*C	Q*C	CQ*Q*C	CQ*CQ	Q*Q	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

CQ – Coagulante químico; Q – Quiabo (floculante); C – Corante; CQ*Q – Interação entre o coagulante químico e o quiabo (floculante); CQ*C – Interação entre o coagulante químico e o corante; CQ*Q*C – Interação entre o coagulante químico, o quiabo (floculante) e o corante; CQ*CQ – Interação entre coagulante químico e ele mesmo; Q*Q – Interação entre o quiabo (floculante) e ele mesmo; C*C – Interação entre o corante e ele mesmo.

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 et al., 2003).

Posteriormente, para determinar as melhores concentrações, avaliou-se a superfície de resposta juntamente com as equações dos modelos para selecionar a melhor condição experimental que promovesse a melhor remoção de cor e a maior quantidade de formação de lodo.

O software Matlab foi utilizado para fazer simulações, testando valores de concentração de coagulante químico e corante na equação do modelo e confirmando se o resultado encontrado seria próximo ao apresentado na superfície de resposta.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CORANTE

A avaliação do tratamento foi realizada com análises de cor, em todos os ensaios para determinação das melhores concentrações experimentais. Depois, um novo ensaio foi realizado utilizando as concentrações que apresentaram os melhores resultados.

Para efeito de comparação, a caracterização físico-química da solução de corante foi realizada antes e depois do tratamento no ensaio com as melhores concentrações. Foram analisados os seguintes parâmetros: cor, pH, turbidez.

4.4.1 Cor

A remoção de cor dos efluentes de indústrias têxteis representa um benefício bastante importante a ser alcançado, principalmente devido ao fato de a mesma estar relacionada à qualidade da água.

Através do método espectrofotométrico para determinação de cor, descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), determinou-se a cor de amostras com base na elaboração de uma curva de calibração. Para a construção desta curva padrão, foi preciso definir primeiramente um comprimento de onda (λ), adequado para as características das amostras a serem analisadas. A determinação deste comprimento de onda foi realizada através da leitura em espectrofotômetro, das absorvâncias para os diferentes

comprimentos de onda. O comprimento de onda que apresentou o maior valor de absorvância, ou seja, o pico, foi utilizado para construir a curva de calibração da solução de alaranjado de metila.

A partir da definição do comprimento de onda, a curva foi construída para este comprimento de onda fixo, através da correlação entre valores de leituras de absorvância em espectrofotômetro e sua correlação com a concentração da substância que está sendo detectada, neste caso o corante.

A cor foi medida por meio da leitura da absorvância em espectrofotômetro (modelo DR/5000 UV-VIS da HACH), no comprimento de onda de máxima absorvância da solução de corante, na faixa visível.

4.4.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Logaritmo negativo na base dez da atividade do íon hidrogênio (H^+) em solução (NBR 9896/1993).

Para a medição do pH, foi utilizado um pHmetro Digital PG 1800 da marca Gehaka, utilizando a metodologia descrita pelo fabricante, no manual do aparelho.

4.4.3 Turbidez

A turbidez refere-se à matéria suspensa presente na água, de qualquer natureza, com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides. É causada principalmente por areia, argila e micro-organismos em geral (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A turbidez foi medida em turbidímetro Policontrol AP2000 IR (Figura 5), de acordo com procedimento recomendado pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO

A avaliação da geração de lodo foi realizada primeiramente em relação ao volume gerado, utilizando-se cones Imhoff, em todos os ensaios, para a determinação das melhores concentrações.

Posteriormente, os ensaios que apresentaram os melhores resultados, foram repetidos para a caracterização do lodo depositado no fundo dos jarros. Após estes novos ensaios o lodo foi recolhido e caracterizado novamente em relação ao volume gerado utilizando-se cones Imhoff. Além disso, os parâmetros: densidade, pH, umidade, matéria orgânica e alumínio, também foram determinados para o lodo gerado.

4.5.1 Volume do Lodo

Para a determinação do volume do lodo foram utilizados cones Imhoff (Figura 5). Após passar pelo tratamento, as soluções de corante foram transferidas para os cones Imhoff, onde permaneceram em repouso, para que o lodo fosse sedimentado. Após o período de uma hora, foi feita a leitura do volume a partir da marcação fornecida em mililitros nos cones.



Figura 5 – Aspecto dos cones Imhoff, utilizados para mensurar o volume do lodo gerado.

4.5.2 Densidade

A densidade aparente (g/L) é indicada pela relação entre a massa do material utilizado e o volume como unidade da amostra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991).

A determinação da densidade (D) foi feita pesando-se 10 mL do lodo, desta forma obtendo-se a massa do mesmo. Então, o cálculo da densidade é feito dividindo-se a massa obtida pelo volume determinado (Equação 1), de acordo com a metodologia proposta por Moretto et al. (2005).

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

Em que:

D = Densidade (g/mL)

M = Massa da amostra (g)

V = Volume da amostra (10 mL)

4.5.3 Teor de Umidade e Matéria Orgânica

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

Para a determinação da umidade em gramas, o lodo resultante do tratamento foi acondicionado em cápsula de porcelana e pesado. O lodo foi submetido à secagem em estufa a 105°C por 16 horas e novamente pesado. Logo, a determinação da umidade foi dada pela massa perdida nesse processo, sendo calculada pela equação 2.

$$U = (m_2 - m_3) - m_1 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

U = Umidade (g)

m_1 = Massa da cápsula (g)

m_2 = Massa inicial da amostra (g)

m_3 = Massa da amostra depois da secagem (g)

A matéria orgânica foi determinada pela continuação na análise de umidade. Após a determinação da umidade as cápsulas retornaram para a estufa, sendo submetidas ao aquecimento, novamente à 105°C, porém, desta vez por 24 horas. Depois deste período as amostras foram pesadas. Então, a determinação da matéria orgânica foi dada pela massa perdida, que pode ser calculada pela equação 3.

$$M.O = (m_3 - m_4) - m_1 \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que:

M.O = Matéria orgânica (g)

M_4 = Massa da amostra depois de mais 24 horas na estufa (g)

4.5.4 Alumínio

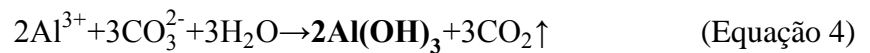
Foram utilizadas as metodologias do Azul de Thenard e do carbonato de sódio, ambas qualitativas, para verificar a presença de alumínio no lodo.

4.5.4.1 Azul de Thenard

A metodologia utilizada foi adaptada de Vaitsman e Bittencourt (1944). Em um papel filtro, foi colocado 100 μL do lodo, depois 50 μL de nitrato de cobalto diluído (0,1 mol/L) e 100 μL de hidróxido de amônia. Em seguida, o papel de filtro foi seco e aquecido em cápsulas de porcelana. Depois de esfriar, foi possível observar o resíduo azul do aluminato de cobalto ($\text{Co}(\text{Al})_2$), conhecido como azul de Thenard, que indica a presença de alumínio.

4.5.4.2 Carbonato de sódio

Em um tubo com dez gotas do lodo, foi adicionado carbonato de sódio até que ocorresse a precipitação completa do hidróxido de alumínio (Equação 4) (VAITSMAN; BITTENCOURT, 1944, p.38).



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CURVA DE CALIBRAÇÃO

Para determinação da curva de calibração (Figura 7), foram feitas leituras de absorvância de soluções com oito concentrações diferentes (0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1 e 2,4 g/L – Figura 6) do corante. Com os resultados, foi possível construir o gráfico da absorvância pela concentração e conseqüentemente, obter a equação da reta de ajuste linear e do coeficiente de correlação (R^2).

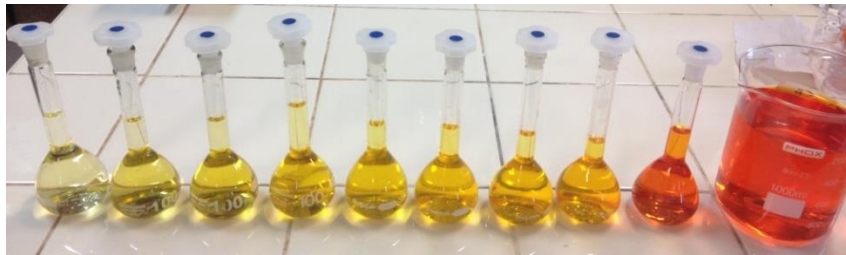


Figura 6 – Balões volumétricos com as soluções de diferentes concentrações de corante, utilizados para a determinação da curva da calibração.

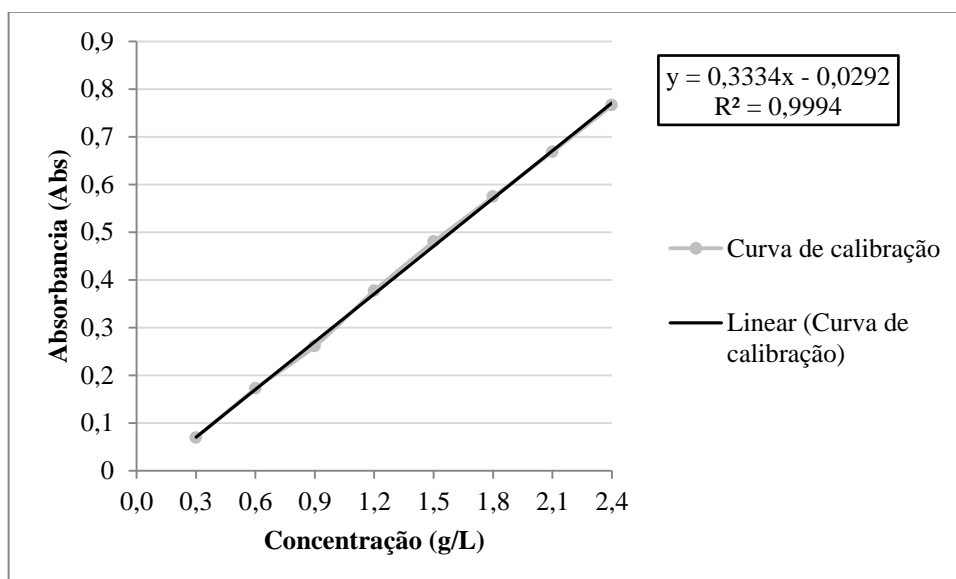


Figura 7 - Curva de calibração e a reta de ajuste linear, determinadas pela varredura realizada com o alaranjado de metila no espectrofotômetro.

Com os resultados da absorvância e determinação da curva de calibração, foi possível comprovar o que já se esperava, a absorvância aumenta à medida que a concentração da solução aumenta e a definição da reta de ajuste linear e o coeficiente de correlação muito próximo de 1 (um), comprovam essa afirmação.

5.2 REMOÇÃO DE COR DAS SOLUÇÕES AQUOSAS DE CORANTE E PRODUÇÃO DE LODO

5.2.1 Remoção de Cor

Realizando os ensaios propostos no planejamento fatorial 2³, foi possível obter os resultados de cor descritos na tabela 3. Os valores de cor obtidos antes do tratamento foram 1,965 e 3,801 Abs pra as soluções com 0,05 (ensaios 1, 2, 3 e 4) e 3,801 (ensaios 5, 6, 7 e 8) g/L, sendo possível calcular a porcentagem de remoção de cor no tratamento.

Tabela 3 – Resultados de cor obtidos na realização do planejamento fatorial 2³

Ensaio	Coagulante químico (g/L)	Quiabo (%)	Corante (g/L)	Cor 1 (Abs)	Cor 2 (Abs)	Média da Cor (Abs)	Remoção de cor (%)
1	0,5	0,1	0,05	0,103	0,137	0,120	93,89
2	1,5	0,1	0,05	0,397	0,295	0,346	90,90
3	0,5	0,2	0,05	0,105	0,120	0,113	94,25
4	1,5	0,2	0,05	0,513	0,354	0,434	88,58
5	0,5	0,1	0,15	0,131	0,186	0,159	91,91
6	1,5	0,1	0,15	0,917	0,336	0,627	83,50
7	0,5	0,2	0,15	0,130	0,181	0,156	92,06
8	1,5	0,2	0,15	0,468	0,517	0,493	87,03

Analisando a Tabela 3, é possível verificar que os melhores resultados de remoção de cor, são referentes aos ensaios 1 e 3, em que a remoção de cor atingiu 93,89 e 94,25%, respectivamente. É importante lembrar que estes resultados são referentes aos ensaios cujas concentrações de coagulante (0,5 g/L) e corante (0,05 g/L), ou seja, ambas no nível inferior.

5.2.2 Lodo gerado

Os resultados obtidos para o lodo gerado durante os ensaios propostos no planejamento fatorial 2^3 são exibidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de produção de lodo obtidos na realização do planejamento fatorial 2^3 .

Ensaio	Volume Lodo (mL)	Volume Lodo (mL)	Média do Volume Lodo (mL)
1	63,0	63,0	63,0
2	31,0	32,0	31,5
3	62,0	63,0	62,5
4	33,0	29,0	31,0
5	94,0	88,0	91,0
6	65,0	59,0	62,0
7	88,0	85,0	86,5
8	68,0	58,0	63,0

No caso do lodo, os melhores resultados foram considerados aqueles que atingiram maior volume, devido ao fato que o maior volume de lodo implica em maior remoção de cor.

Observando os resultados dispostos na Tabela 4, verifica-se que a maior produção de lodo acontece nos ensaios 5 e 7, que produziram 91,0 e 86,5 mL, respectivamente. Resultados estes referentes aos ensaios com 0,15 g/L de concentração (nível superior), o que já de suposto, afinal, soluções com maiores concentrações de corante, devem produzir maior volume de lodo. Por isso também é importante considerar os ensaios 1 e 3, cujos volumes de lodo produzido foram 63,0 e 62,5 mL. Resultados estes referentes aos ensaios com 0,05 g/L de concentração (nível inferior).

Maiores considerações poderão ser feitas através do método dos mínimos quadrados, apresentado a seguir.

5.3 DETERMINAÇÃO DAS MELHORES CONDIÇÕES PELO PLANEJAMENTO FATORIAL 2^3 E ANÁLISE MULTIVARIADA

O modelo matemático para correlacionar a matriz de planejamento \mathbf{X} com a matriz de respostas instrumentais \mathbf{Y} foi desenvolvido através do método de mínimos quadrados

parciais (GELADI; KOWALSKI, 1986). O que o modelo faz na verdade é determinar os 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 a análise pode ser feita através de uma curva de distribuição de probabilidade normalizada (BARROS NETO et al., 2003).

Nas figuras 8 e 9, são apresentadas as curvas das distribuições de probabilidade normalizada para os efeitos padronizados para se avaliar cada fator e suas interações no processo de tratamento do efluente sintético utilizando o quiabo como auxiliar de floculação no processo. Estes gráficos podem ser divididos em duas regiões, uma onde os fatores e interações apresentam coeficientes negativos e a uma onde os fatores e as interações apresentam coeficientes positivos. Todos os fatores e interações que são representados por um asterisco em verde foram significativos e esses 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 8), o valor positivo do coeficiente 2 (Coagulante Químico) significa que a cor torna-se mais intensa com a concentração maior de coagulante químico. O valor negativo do coeficiente 4 (Corante) significa que a cor torna-se menos intensa com a concentração menor do corante. No lodo (Figura 9), o valor negativo do coeficiente 2 (CQ) significa que a cor torna-se menos intensa com a concentração menor de coagulante químico. O valor positivo do coeficiente 4 (C) significa que a cor torna-se mais intensa com a concentração maior do corante. O efeito do floculante (Quiabo – Q) sozinho não foi importante no processo, porém a interação desse floculante com ele mesmo se mostrou significativa (coeficiente 10).

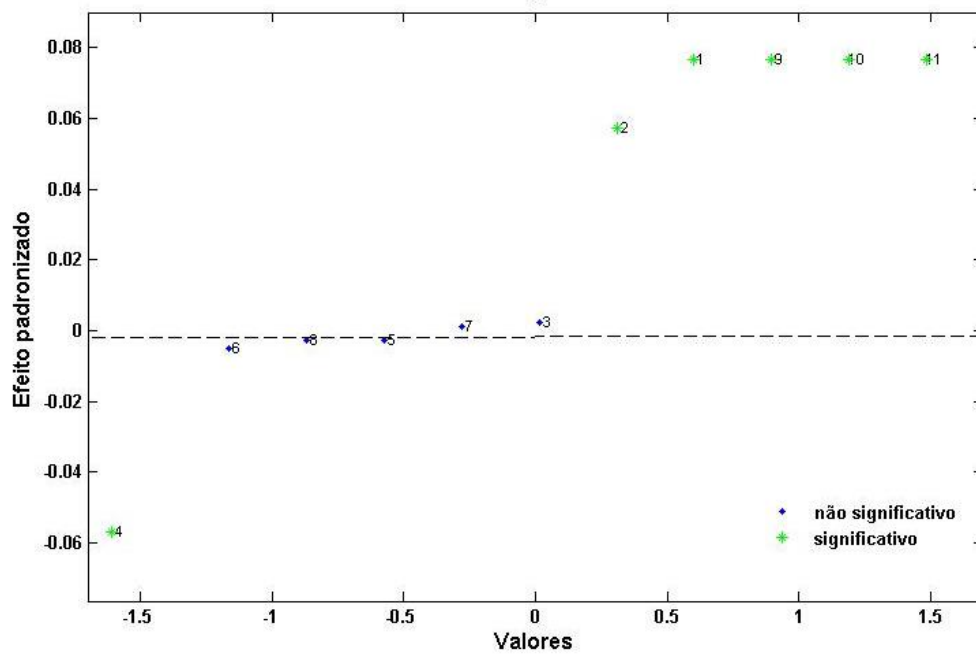


Figura 8 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na remoção de cor (1-média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-Q, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7-Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ², 10-Q², 11-C²).

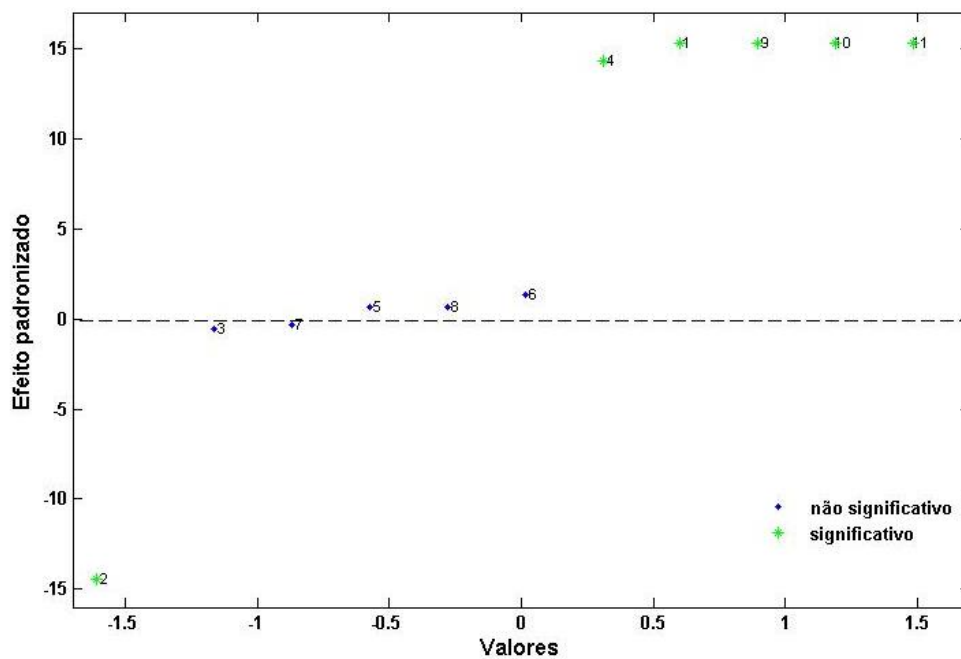


Figura 9 - Probabilidade normal dos efeitos padronizados na formação de lodo. (1-média, 2-Coagulante Químico-CQ, 3-Floculante-Q, 4-Corante-C, 5-CQ.Q, 6-CQ.C, 7-Q.C, 8-CQ.Q.C, 9CQ², 10-Q², 11-C²).

Após realizar uma triagem dos fatores e verificar quais foram significativos no processo, é possível escrever uma equação simplificada para o modelo matemático na

remoção de cor (Equação 7) e na formação de lodo (Equação 8) e realizar uma análise da superfície de resposta para se obter a máxima remoção de cor e formação de lodo.

$$y=0,0765+0,00573.CQ-0,0568.C+0,0765.CQ^2+0,0765.Q^2+0,0765.C^2 \quad (\text{Equação 7})$$

$$y=15,3281-14,4383.CQ+14,3117.C+15,3281.CQ^2+15,3281.Q^2+15,3281.C^2 \quad (\text{Equação 8})$$

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

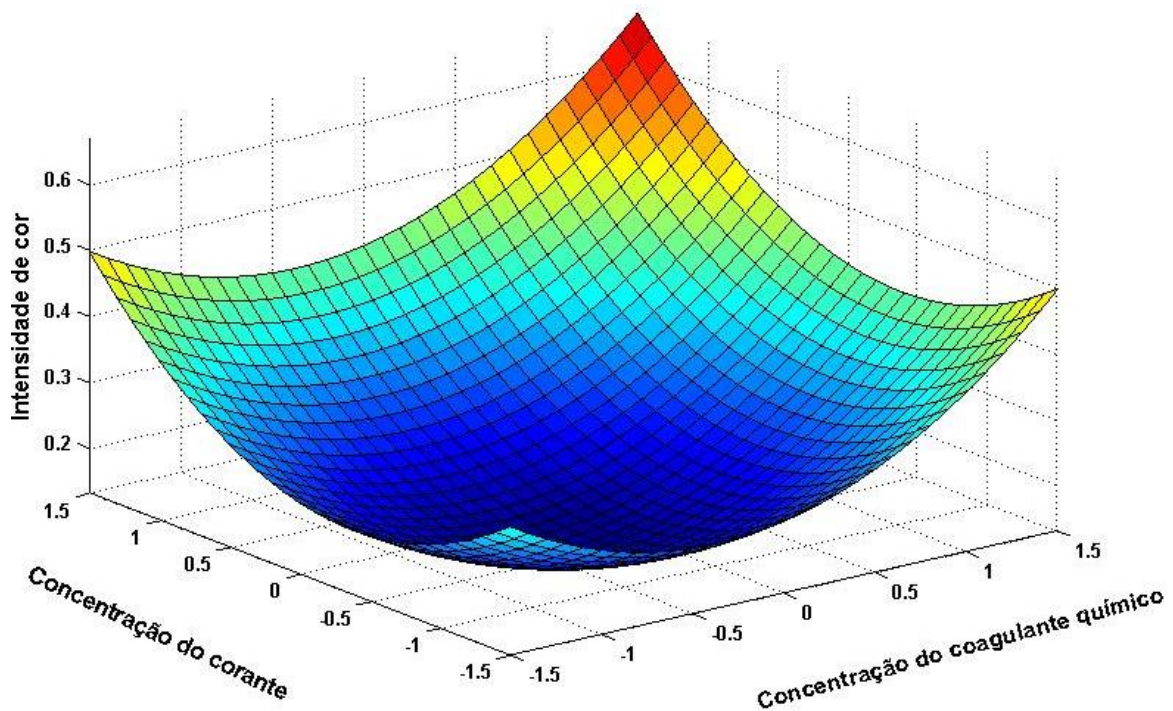


Figura 10 - Superfície de resposta para o modelo obtido na remoção de cor quando a concentração de quiabo estava no nível superior.

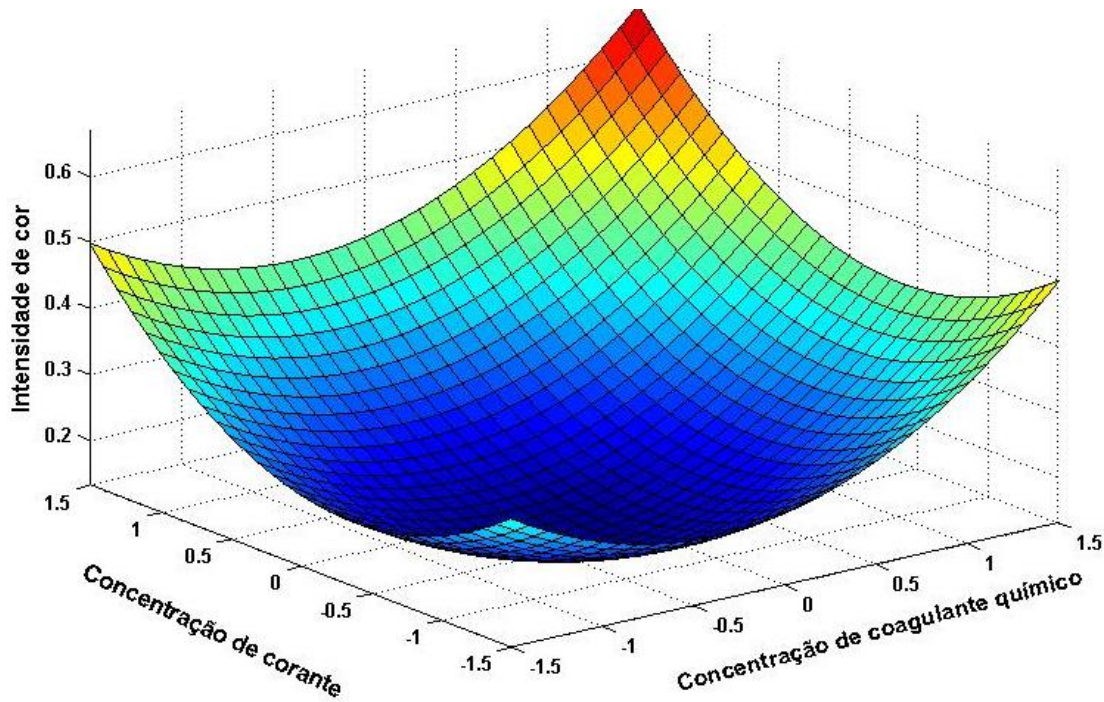


Figura 11 - Superfície de resposta para o modelo obtido na remoção de cor quando a concentração de quiabo foi mantida no nível inferior.

Por meio das superfícies de respostas, fica comprovado que a concentração do auxiliar de floculação não influencia o processo de remoção de cor, uma vez que as superfícies são praticamente 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. Observando as Figuras 10 e 11, é possível perceber que diminuindo ainda mais as concentrações do corante e do coagulante químico, a intensidade de cor aumenta. Portanto, as condições ótimas para as concentrações de corante e coagulante químico que promovem a máxima remoção de cor são aquelas que resultam no mínimo da curvatura da superfície de resposta (região em azul escuro).

As superfícies de resposta para a quantidade de lodo gerada no processo são apresentadas nas Figuras 12 e 13.

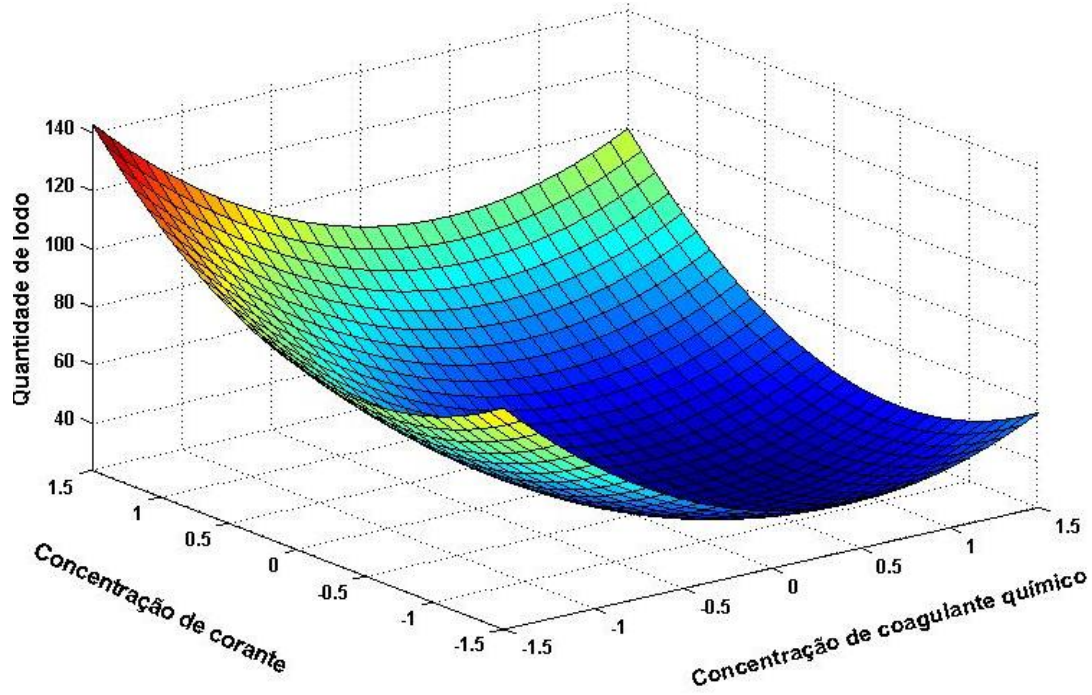


Figura 12 - Superfície de resposta para o modelo obtido na formação de lodo quando a concentração de quiabo estava no nível superior.

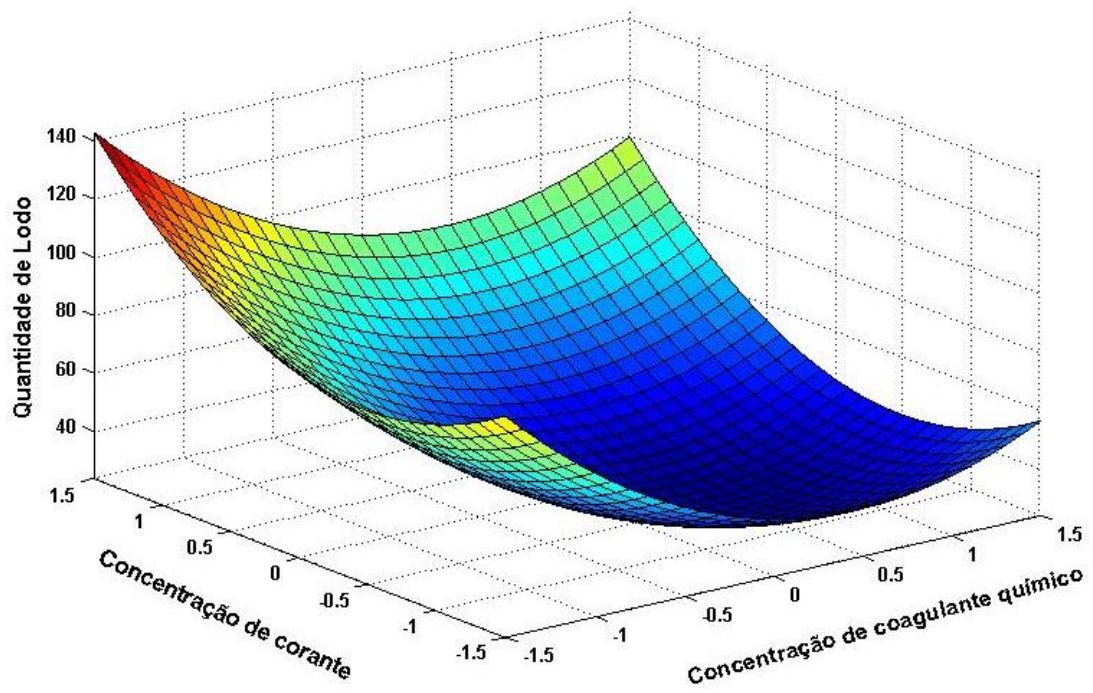


Figura 13 - Superfície de resposta para o modelo obtido na formação de lodo quando a concentração de quiabo foi mantida no nível inferior.

A maior quantidade de lodo é formada quando as concentrações de corante e coagulante químico encontram-se nos níveis inferiores. Nesse caso também não existe influência significativa da concentração do auxiliar de floculação no processo, e as superfícies são praticamente idênticas.

Por meio dos resultados obtidos com o planejamento fatorial, pode-se concluir que melhores resultados de remoção e cor e formação de lodo são alcançados com as concentrações de corante e coagulante químico nos níveis inferiores. A concentração 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 concentrações contribuem da mesma forma no processo de remoção de cor e formação de lodo.

Foram feitas simulações no Matlab, testando valores de concentração de coagulante químico e corante nas equações 7 e 8 do modelo, confirmando que o resultado encontrado foi próximo ao apresentado na superfície de resposta.

Por estas análises, foi possível definir concentrações ótimas para o coagulante e para o corante que fornecessem máxima remoção de cor e máxima geração de lodo no final do tratamento.

Para demonstrar que a concentração do quiabo foi indiferente no tratamento, foram feitas duas análises em duplicata, uma com a concentração de quiabo no nível inferior e outra no nível superior.

Desta forma as concentrações que demonstraram melhores resultados e foram utilizadas nos ensaios finais para caracterização da solução tratada e do logo gerado, estão dispostas na Tabela 5. Sendo esta a condição experimental adotada.

Tabela 5 - Condição experimental adotada para os ensaios finais para caracterização da solução tratada e do logo gerado

Substancia	Ensaio 1	Ensaio 2
Coagulante químico (g/L)	0,75	0,75
Corante (g/L)	0,075	0,075
Quiabo (%)	0,1	0,2

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DE CORANTE TRATADA

Os resultados dos parâmetros avaliados da melhor condição experimental estão apresentados na Tabela 6. Para efeito de comparação, os resultados da caracterização físico-química da solução de corante são de antes e depois do tratamento.

Tabela 6 - Resultados dos parâmetros avaliados da melhor condição experimental.

Parâmetro	Antes do tratamento	Depois do tratamento			
		1ª	1B	2A	2B
Cor (Abs)	2,962	0,151	0,133	0,053	0,072
Turbidez (uT)	7,98	6,98	6,28	5,35	5,13
pH	7,89	4,22	4,22	4,23	4,23

Com base nestes resultados, constatou-se que o auxiliar de floculação não teve interferência significativa nos resultados, como já visto anteriormente, uma vez que os valores dos ensaios com as diferentes concentrações de quiabo se mostraram muito semelhantes.

Quanto à remoção de cor, novamente os resultados foram satisfatórios, chegando a atingir 98% de remoção no ensaio 2A, em que se utilizou a concentração de quiabo a 0,2%.

Ainda que com pouca diferença, de maneira geral, os melhores resultados foram obtidos nos ensaios cuja concentração de quiabo encontrava-se no nível superior.

5.5 CARACTERIZAÇÃO DO LODO GERADO

Da condição experimental escolhida, foram realizadas as análises do lodo nos parâmetros: densidade, pH, umidade, matéria orgânica e alumínio.

Os resultados encontrados nas análises destes parâmetros estão apresentados na Tabela 7, com exceção dos metais que será apresentado posteriormente.

Tabela 7 - Resultados obtidos nas análise dos parâmetros do lodo

Parâmetro	1A	1B	2A	2B
Volume (mL)	56,00	64,00	68,00	58,00
Densidade (g/L)	0,95	0,95	0,95	0,94
Ph	4,10	4,11	4,17	4,19
Umidade (%)	97,40	95,91	94,48	99,10
Matéria orgânica (%)	0,08	0,042	0,31	0,08

As análises do volume de lodo gerado foram feitas utilizando cones Imhoff conforme ilustrado na Figura 14, para melhor visualização identificação foi feita, sendo 1A e 1B os ensaios com 0,1 % da solução de quiabo e 2A e 2B para os ensaios 0,2 % da solução de quiabo. O maior volume de lodo foi obtido no ensaio 2A.



Figura 14 – Avaliação do lodo em relação ao volume gerado com o uso de cones Imhoff.

As Figuras 15A, 15B e 15C mostram as cápsulas de porcelana com as amostras de lodo úmido, com o material resultante das 16 horas na estufa (umidade) e com o material resultante das outras 24 horas na estufa (matéria orgânica), respectivamente.

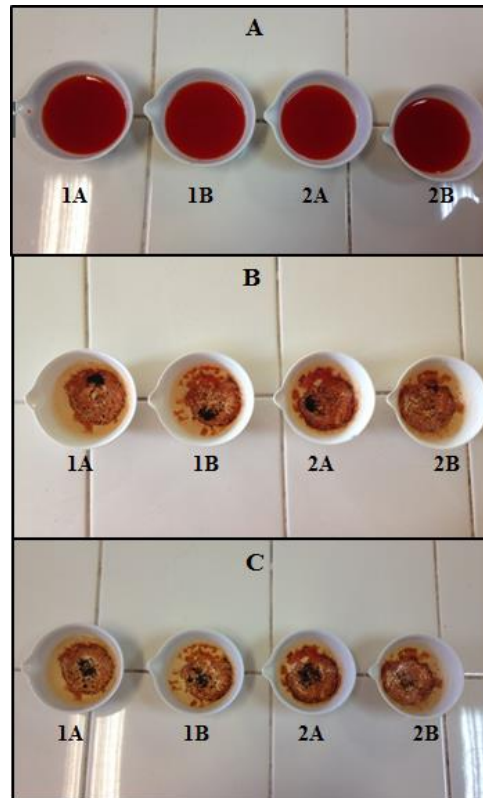


Figura 15 - Aspectos das amostras de lodo nos ensaios de umidade e matéria orgânica.

A: Cápsulas de porcelana com o lodo úmido

B: Cápsulas de porcelana após 16 horas na estufa a 105°C

C: Cápsulas de porcelana após mais 24 horas na estufa a 105°C

5.5.1 Alumínio

Para a análise do alumínio, foram realizados dois testes qualitativos, o Azul de Thenard (Figura 16) e o Carbonato de sódio (Figura 17).

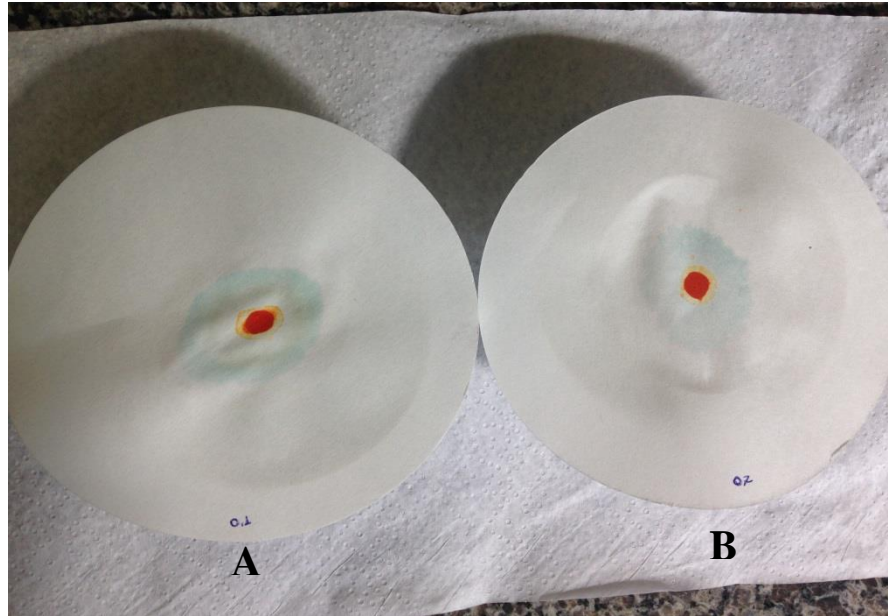


Figura 16 – Aspecto das amostras de lodo submetidas à metodologia do Azul de Thenard.

A: Análise da amostra com 0,1 % de solução de quiabo.

B: Análise da amostra com 0,2 % de solução de quiabo.



Figura 17 - Aspecto das amostras de lodo submetidas à metodologia do Carbonato de sódio.

A: Análise da amostra com 0,1 % de solução de quiabo.

B: Análise da amostra com 0,2 % de solução de quiabo.

Ambas as avaliações qualitativas do lodo indicaram a presença de alumínio nas amostras. Na avaliação Azul de Thenard, a coloração azul se dá pela formação de resíduo de

aluminato de cobalto, como é possível verificar na Figura 16. Já na análise com carbonato de sódio, a presença de alumínio é visível, pois o metal precipita em forma de hidróxido de alumínio que é formado na reação (Figura 17).

Ainda é possível supor que a concentração de alumínio é maior no ensaio com 0,1 mg/L de quiabo, fato que poderá ser comprovado com a realização de análises quantitativas de alumínio.

Maiores considerações poderão ser feitas a partir de análises quantitativas que serão realizadas posteriormente.

Não foi possível discutir os resultados deste trabalho utilizando comparações com outras literaturas, pois não foram encontradas literaturas que abordem especificamente o tema deste trabalho.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos com o planejamento fatorial, foi possível concluir que melhores valores de remoção de cor e formação de lodo são adquiridos com as concentrações de corante e coagulante químico nos níveis inferiores de concentração.

A concentração de quiabo no processo não foi significativa, o que não significa que a sua presença não seja importante. Nesse caso foi indiferente manter a concentração de quiabo no nível inferior ou superior, ambas concentrações contribuem da mesma forma no processo de remoção de cor e formação de lodo.

Além disso, a ferramenta da otimização multivariada se mostrou bastante eficaz, facilitando a determinação da melhor condição experimentada, onde ocorresse a máxima remoção de cor e máxima produção de lodo.

Mesmo que de forma pouco evidente, o auxiliar de floculação na concentração mais alta, se mostrou mais eficiente no tratamento. O que demonstra que os estudos referentes a aplicação de quiabo como auxiliar de floculação na remoção de cor de efluentes têxteis, devem ser continuados.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, M.; SRINIVASAN, R.; MISHRA, A. **Study on Flocculation Efficiency of Okra Gum in Sewage Waste Water**. Macromolecular materials and Engineering, v. 286- 9. Wiley, 2001.
- AGARWAL, M.; RAJANI, S.; MISHRA, A., RAI. **Utilization of Okra Gum for Treatment of Tannery Effluent**. International Journal of Polymeric Materials. Taylor & Francis, 2003.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. APHA, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. **Panorama do Setor Têxtil e de Confeções**. Brasília - DF, 2011. Disponível em: http://abit.org.br/abitonline/2011/06_07/apresentacao.pdf. Acesso em 23 nov. 2014.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11834: Carvão Ativado Pulverizado – Especificação**. Código Secundário: EB 2133. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE HORTIFRUTGRANJEIROS DAS CEASAS DO ESTADO DE MINHAS GERAIS – APHCCEMG, 2012. Disponível em: http://www.aphccemg.org.br/mat_vis.aspx?cd=6513>. Acesso em: 29 nov. 2014.
- BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2 ed., Campinas: Editora da Unicamp, 2003.
- BRASIL, J. L.; VAGHETTI, J. C. P.; ROYER, B.; SANTOS JUNIOR, A. A. dos; 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).
- CADORIM, Bruno M. **Degradação de Corantes Azo por Plasma Frio de Descarga Corona**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

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

COEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente (do Estado do Ceará). **Resolução COEMA No. 08, de 15 de Abril de 2004**. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislaCAO/ResolCOEMA08-04.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

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

FISPQ – **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**. Disponível em: <<http://www.analista.com.br/fichas/Alaranjado%20de%20Metila.htm>>. Acesso em: 13 mai. 2015.

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.

GARCIA, J. C.; OLIVEIRA, J. L.; SILVA, A. E. C.; OLIVEIRA, C. C.; NOZAKI, J.; SOUZA, N. E. **Comparative study oh the degradation of real textile effluents by photocatalytic reactions involving UV/TiO₂/H₂O₂ systems**. Journal of Hazardous Materials, v.147, p. 105-110, 2007.

GELADI, P.; KOWALSKI, B. R. **Partialleast-squaresregression: a tutorial**. AnalyticaChimica Acta, 185: 1-17 (1986).

GOMES, Marcelo S. **Estudo de Catalizadores na decomposição de corantes orgânicos poluentes**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Química Industrial, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/90088/000914018.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M.V.B. **Corantes têxteis**. Química Nova, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2146.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

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. Disponível em: <http://www.afpcemg.org.br/mat_vis.aspx?cd=6513>. Acesso em: 01 jun. 2015.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S.G.; DÚRAN, N. **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Química nova, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n1/10428.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2014.

LEÃO, M., CARNEIRO, E. V., KELLER S. W., DELANO, TORQUETTI, Z., SOARES, A., FERNANDES NETO, M. **Desenvolvimento Tecnológico para Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas – Projeto Minas Ambiente**, Editora e Gráfica Limitada, Belo Horizonte, 2002.

LIMA, G. J. A. **Uso de Polímero Natural do Quiabo como Auxiliar de Flocculação 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.

MORETTO, Sara R.O.; PUPPI, Rogério F.K.; PEGORINI, Eduardo S.; INOUE, Pamila S.; OLIVEIRA, Guilherme G. de. **Medidas da densidade do lodo proveniente de digestão anaeróbia**. 2011. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2011_1/DensidadeLodo/index.htm>. Acesso em: 01 jun. 2015.

PAULA, A. C.; BRAGA, T. C. **Corantes**. Universidade Federal do Ceara – UFC, Fortaleza, Brasil, 2011.

RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M.; **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Blücher Ltda, 1991.

RICHTER, C. A.; **Água: Métodos e tecnologias de tratamento**. São Paulo: Editora Blücher, 2009.

ROTT, U.; MINKE, R. **Overview of wastewater treatment and recycling in the textile processing industry**. Wat. Sci. Tech., v.40, n.1, p. 137-144, 1999.

SANTOS, S. **Impacto Ambiental Causado pela Indústria Têxtil**. Universidade Federal de Santa Catarina. In: XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Gramado (SC), 1997, p. 1-8. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1997_t6410.pdf> Acesso em: 20 nov. 2014.

SHARKAWY, E. A. E.; SOLIMAN, A. Y.; AMER, K. M. A. **Comparative study for the removal of methylene blue via adsorption and photocalytic degradation.** Journal of Colloid and Interface Science. v. 310, p. 498-508, 2007.

VAITSMAN, D. S.; BITTENCOURT, O. A., Ensaio Químicos Qualitativos. 14ed. Pág. 38. Rio de Janeiro, 1944.

VAZ, L. G. L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia.** Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Toledo, Paraná, Brasil, 2009.