

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**CAMILA POMPEI NEVES**

**APLICAÇÃO DE *Moringa oleifera* E SULFATO DE ALUMÍNIO NO  
TRATAMENTO FÍSICO/QUÍMICO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA  
TÊXTIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2016**

**CAMILA POMPEI NEVES**

**APLICAÇÃO DE *Moringa oleifera* E SULFATO DE ALUMÍNIO NO  
TRATAMENTO FÍSICO/QUÍMICO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA  
TÊXTIL**

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de  
Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de  
Engenharia Ambiental da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

**LONDRINA**

**2016**



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná**

Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia

Ambiental

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Aplicação de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio no tratamento  
físico/químico de efluente de indústria têxtil

por

Camila Pompei Neves

Monografia apresentada no dia 05 de setembro de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
(UTFPR)

---

Prof. Dra. Joseane Debora Peruco Theodoro  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais pelo apoio e confiança que sempre depositaram em mim.

Aos meus avós e à minha irmã que sempre torceram pelo meu sucesso e, mesmo de longe, sempre acompanharam a minha trajetória.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental. Em especial, à minha orientadora Edilaine, por todo apoio e conhecimento fornecido ao longo deste trabalho.

E, por fim, agradeço a todos os meus amigos e amigas, que sempre estiveram presentes durante minha jornada acadêmica.

## RESUMO

NEVES, Camila P. Aplicação de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio no tratamento físico/químico de efluente de indústria têxtil. 2016. 63 f. Trabalho de Graduação. (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

O processo de produção têxtil é extenso e caracterizado pela alta variabilidade nos processos e produtos empregados. Tal característica influencia diretamente na composição final do efluente que, de modo geral, é caracterizado pela sua complexidade com elevada carga orgânica, cor e presença de substâncias recalcitrantes. Os processos comumente utilizados no tratamento de efluentes são físico-químicos de coagulação/floculação/sedimentação com o uso de coagulantes metálicos como, por exemplo, o sulfato de alumínio e cloreto férrico. Apesar de alcançarem bons resultados, o uso desses coagulantes leva a produção de lodos de difícil degradação e com presença elevada de metais, o que os torna um problema do ponto de vista ambiental. Em busca de uma alternativa ao uso de tais coagulantes, este trabalho teve como objetivo comparar a eficiência do coagulante natural *Moringa oleifera* e do sulfato de alumínio, bem como, da associação entre os dois no tratamento de efluente têxtil quanto aos parâmetros remoção de turbidez, cor aparente e sólidos totais e acompanhamento da variação de pH e condutividade elétrica. Foi utilizado o planejamento experimental de Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). A concentração do coagulante variou de 300 mgL<sup>-1</sup> a 800 mgL<sup>-1</sup> e tempo máximo de sedimentação foi de 40 minutos. As concentrações e tempos de coleta intermediários foram determinados via DCCR e os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados no equipamento Jar-test com mistura rápida de 3 minutos a 150 rpm e mistura lenta de 10 minutos a 15 rpm. O estudo revelou que nenhum dos coagulantes apresentou resultados satisfatórios na remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e sólidos totais, sendo que a *Moringa oleifera* proporcionou um aumento de 103% de turbidez, 63,34% de cor e 28,81% de sólidos totais após o tratamento com 800 mgL<sup>-1</sup> e tempo de sedimentação de 20 minutos, seguida da associação entre os coagulantes, que reduziu a cor em 7,40% apenas no ensaio com concentração de 373 mgL<sup>-1</sup> e tempo de sedimentação de 6 minutos. O melhor resultado foi obtido utilizando o sulfato de alumínio, com o qual, alcançou-se redução máxima de 36,98% na cor no ensaio com 550 mgL<sup>-1</sup> de coagulante e tempo de 20 minutos, 24,42% de redução da turbidez no tratamento com tempo de sedimentação de 20 minutos e concentração de 800 mgL<sup>-1</sup>. A melhor remoção de sólidos totais ocorreu no tratamento com sulfato de alumínio que utilizou 373 mgL<sup>-1</sup> de coagulante e tempo de sedimentação de 6 minutos. Quanto a condutividade elétrica e o pH, não foram observadas alterações significativas nos três tratamentos e o pH manteve-se dentro dos valores estabelecidos pela CONAMA 430/11. Para este efluente conclui-se que outros coagulantes devem ser testados a fim de que melhores resultados de remoção para os parâmetros analisados possam ser encontrados.

**Palavras-chave:** *Moringa oleifera*, sulfato de alumínio, efluente têxtil, DCCR.

## ABSTRACT

NEVES, Camila P. 2016. 63 p. Application of *Moringa oleifera* and aluminum sulfate in the physical/chemical treatment of textile effluents Final Paper. (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2016.

The textile production process is extensive and characterized by high variability in processes and products used. This characteristic directly influences the final composition of the effluent, in general, it is characterized by its complexity with high organic load, color and presence of recalcitrant substances. The treatments most used in wastewater treatment are physicochemical processes of coagulation/flocculation/sedimentation using metal coagulant such as aluminum sulfate and ferric chloride. Although providing good results, these coagulants produce sludges which are difficult to degrade and have high presence of metals, which makes them an environmental problem. In search of an alternative to the use of these coagulants, this study aimed to compare the efficiency of natural coagulant *Moringa oleifera* and aluminum sulfate, as well as the association between these two coagulants and in the treatment of textile effluent using the experimental design Composite Rotational Design (RCCD). The concentration of the coagulant ranged from 300 mgL<sup>-1</sup> 800 mgL<sup>-1</sup> and maximum sedimentation time was 40 minutes. Concentrations and intermediate times were determined via RCCD and tests of coagulation/flocculation/sedimentation were carried out in Jar-test equipment. The study revealed that none of coagulants showed satisfactory results. *Moringa oleifera* provided a 103% increased turbidity, color and 63.34% 28.81% total solids with 800 mgL<sup>-1</sup> and 20 minutes settling time. The association of coagulants reduced color concentration of 7.40% with 373 mgL<sup>-1</sup> and sedimentation time of 6 minutes. The best result was obtained using aluminum sulfate 36.98% which reduced the color in the test with 550 mgL<sup>-1</sup> and coagulation time of 20 minutes 24.42% turbidity of the treatment time 20 minutes sedimentation and concentration 800 mgL<sup>-1</sup>. The best total solids removal occurred in treatment using aluminum sulfate, which used 373 mgL<sup>-1</sup> coagulating and sedimentation time of 6 minutes. Electrical conductivity and pH did not change significantly in the three treatments and pH remained within the established by CONAMA 430/11. For this effluent it was concluded that other coagulants should be tested to find the best removal results for the parameters analyzed.

**Keywords:** *Moringa oleifera*, aluminum sulfate, textile effluent, RCCD.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – METODOLOGIAS PARA AS ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	29
TABELA 2 – VALORES CODIFICADOS DO DCCR E REAIS DE CONCENTRAÇÃO E TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO.....	30
TABELA 3 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA O EFLUENTE BRUTO.....	33
TABELA 4 – RESULTADOS PARA A VARIÁVEL PH.....	34
TABELA 5 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA O PH NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	34
TABELA 6 – ANOVA PARA O PH NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> ....	35
TABELA 7 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA O PH NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	36
TABELA 8 – ANOVA PARA O PH NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	37
TABELA 9 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA O PH NO TRATAMENTO COMBINADO.....	38
TABELA 10 – ANOVA PARA O PH NO TRATAMENTO COMBINADO.....	38
TABELA 11 – RESULTADOS PARA A VARIÁVEL CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	39
TABELA 12 – MÉDIA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA POR CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE.....	40
TABELA 13 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA O PH NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	40
TABELA 14 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA C.E. NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	41
TABELA 15 – ANOVA PARA C.E. NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	41
TABELA 16 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA C.E. NO TRATAMENTO COMBINADO.....	43
TABELA 17 – RESULTADOS PARA A VARIÁVEL REMOÇÃO DA TURBIDEZ.....	43
TABELA 18 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	44
TABELA 19 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	45
TABELA 20 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ NO TRATAMENTO COMBINADO.....	46

TABELA 21 – ANOVA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ NO TRATAMENTO COMBINADO .....	46
TABELA 22 – RESULTADOS DE REMOÇÃO DA COR APARENTE PARA OS TRÊS TRATAMENTOS .....	47
TABELA 23 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DA COR APARENTE NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	48
TABELA 24 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DA COR APARENTE NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO .....	49
TABELA 25 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DA COR APARENTE NO TRATAMENTO COMBINADO .....	49
TABELA 26 – RESULTADOS DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS PARA OS TRÊS TRATAMENTOS .....	50
TABELA 27 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	50
TABELA 28 – ANOVA PARA A REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	51
TABELA 29 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO .....	52
TABELA 30 – TABELA DE EFEITOS ESTIMADOS PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NO TRATAMENTO COMBINADO .....	53



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PLANTA E PRODUTOS DA MORINGA OLEIFERA.....	24
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE APUCARANA – PR.....	28
FIGURA 3 – (A) SOLUÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO; (B) SOLUÇÃO DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	31
FIGURA 4 – EQUIPAMENTO JAR-TEST.....	32
FIGURA 5 –SUPERFÍCIE RESPOSTA PARA O PH NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	35
FIGURA 6 –SUPERFÍCIE RESPOSTA PARA O PH NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	37
FIGURA 7 –SUPERFÍCIE RESPOSTA PARA O PH NO TRATAMENTO COMBINADO .....	39
FIGURA 8 –SUPERFÍCIE RESPOSTA PARA O C.E. NO TRATAMENTO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	42
FIGURA 9 –SUPERFÍCIE RESPOSTA PARA REMOÇÃO DE TURBIDEZ NO TRATAMENTO COMBINADO.....	47
FIGURA 10 –SUPERFÍCIE RESPOSTA PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NO TRATAMENTO COM <i>MORINGA OLEÍFERA</i> .....	51

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 OBJETIVOS .....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	13
3.1.1 O PROCESSO TÊXTIL.....	13
3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	15
3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	16
3.3.1 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO .....	17
3.3.2. SEDIMENTAÇÃO.....	19
3.4.1 COAGULANTES QUÍMICOS .....	21
3.4.1.1 SULFATO DE ALUMÍNIO .....	21
3.4.2 COAGULANTES NATURAIS.....	22
3.4.2.1 <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1 COLETA DO EFLUENTE E LOCAL DOS ENSAIOS.....	28
4.2 PARÂMETROS ANALISADOS .....	28
4.3 PRÉ – ENSAIO .....	29
4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	30
4.5 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES .....	31
4.6 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO .....	31
5 RESULTADOS .....	33
5.1 PH.....	33
5.1.1 <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	34
5.1.2 SULFATO DE ALUMÍNIO.....	36
5.1.3 COMBINADO .....	37
5.2 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	39
5.2.1 <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	39
5.2.2 SULFATO DE ALUMÍNIO.....	40
5.2.3 COMBINADO .....	42
5.3 REMOÇÃO DA TURBIDEZ.....	43
5.3.1 <i>MORINGA OLEÍFERA</i> .....	43
5.3.2 SULFATO DE ALUMÍNIO.....	44
5.3.3 COMBINADO .....	45
5.4 REMOÇÃO DA COR APARENTE .....	47
5.4.1 <i>MORINGA OLEÍFERA</i> .....	48
5.4.2 SULFATO DE ALUMÍNIO.....	48
5.4.3 COMBINADO .....	49
5.5 REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS .....	50
5.5.1 <i>MORINGA OLEIFERA</i> .....	50
5.5.2 SULFATO DE ALUMÍNIO.....	52
5.5.3 COMBINADO .....	52
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um dos setores industriais mais antigos e difundidos no mundo. O Brasil é um dos últimos países do ocidente a manter a cadeia de produção têxtil completa, produzindo e confeccionando desde as suas próprias fibras até o produto final. No cenário mundial, o país ocupa a quarta posição entre os maiores produtores de artigos de confecção (ABIT, 2013).

O efluente produzido na indústria têxtil é conhecido por sua complexidade, possuindo composição altamente variada devido à grande diversidade de produtos usados nos processos de fabricação e também pela presença de diversas substâncias químicas recalcitrantes, como os corantes. Quando descartado indevidamente nos corpos hídricos, este efluente gera inúmeros impactos negativos no ecossistema aquático. Além disso, a poluição dos rios por efluente têxtil inviabiliza o uso da água para o abastecimento público, assim como, para o desenvolvimento das demais atividades humanas (JOSHI et al., 2004; ANDRADE, 2003).

Dentro do tratamento dos efluentes têxteis existem os processos de coagulação-floculação-sedimentação com uso de coagulantes metálicos como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Entretanto, estudos têm apontado que o uso destes coagulantes, apesar de muitas vezes apresentar resultados satisfatórios, geram lodos de difícil degradação e com quantidades significativas de metais (KUNS et al., 2002). Em busca de uma solução para esta problemática vem crescendo o número de estudos envolvendo o uso de coagulantes naturais como a semente de *Moringa oleifera* e os taninos. Estes coagulantes vêm demonstrando resultados satisfatórios no tratamento de efluentes, além de produzirem lodos menos complexos, mais biodegradáveis e em menores quantidades.

Considerando a temática abordada anteriormente, este trabalho tem como objetivo estudar o uso da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de efluente proveniente de indústria têxtil assim como analisar a sua combinação com o coagulante químico sulfato de alumínio já utilizado na indústria.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do uso das sementes de *Moringa oleifera* e do sulfato de alumínio no tratamento de efluente têxtil

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a eficiência da remoção dos parâmetros de cor aparente, turbidez e sólidos totais do efluente;
- Acompanhar a variação do pH, condutividade elétrica do efluente.
- Averiguar a aplicabilidade da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de efluentes têxteis em comparação ao sulfato de alumínio e também da associação entre os coagulantes.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil é um dos setores industriais mais antigos no mundo. No Brasil, esse setor foi implementado definitivamente no início do século XX, passando por momentos diversos de expansão e retração (COSTA, 2008).

O Brasil possui uma das últimas cadeias completas de produção têxtil do ocidente, produzindo desde as fibras até as confecções, e reúne mais de 32 mil empresas, das quais 80% são de pequeno e médio porte. Hoje, o país ocupa a quarta posição entre os maiores produtores de artigos de vestuário e é quinto maior produtor de manufaturas têxteis, ficando atrás apenas da China, Índia, Paquistão e EUA (ABIT, 2013).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil (ABIT), em 2012, a participação do setor têxtil no PIB da indústria de transformação foi de 5,15%, representando 12,13% do número de empregos desta indústria no mesmo ano.

##### 3.1.1 O Processo Têxtil

A cadeia de produção da indústria têxtil é longa e envolve diversas etapas iniciando na escolha das fibras que podem ser divididas em naturais e sintéticas.

As fibras naturais podem ser de origem vegetal e animal, sendo a lã, o algodão, a seda e o linho as mais utilizadas. As fibras sintéticas, obtidas a partir das lâminas de celulose, são comercialmente conhecidas como acetato e viscose, existem também a poliamida, formada a partir da condensação do ácido adípico e hexametileno diamina, o poliéster, um polímero do ácido tereftálico e etilenoglicol, e o acrílico, formado pela polimerização da acrilonitrila (CETESB, 2009; GUARATINI; ZANONI, 2000).

De acordo com CETESB (2009) após a seleção da fibra, esta passará pelos processos de:

- Fiação: consiste na obtenção do fio a partir das fibras têxteis. Para as fibras naturais estão envolvidos nesta etapa os processos de abertura, carda, passadeira, reunideira, penteadeira, maçarqueira, filatório, conicaleira, retorcedeira e vaporização.
- Beneficiamento: consiste na preparação dos fios para seu uso final ou não, envolvendo os processos de chuscagem, purga, alvejamento, mercerização e costumização, tingimento, estamparia, secagem, compactação, calandragem, felpagem, amaciamento e acabamento anti-chamas.
- Tecelagem e malharia: compreendem processos de preparação do tecido como o urdimento, engomagem e tecimento.
- Enobrecimento: consiste nas etapas de preparação, tingimento, estamparia e acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados.
- Confeção: transformação dos tecidos em produtos de vestuário.

Segundo Braile e Cavalcanti (1993), o resultado das várias etapas de processamento dos tecidos gera um efluente com presença de compostos orgânicos – amido, dextrina, gomas, glucose, graxas, pectina, álcoois, ácido acético, sabões e detergentes – e inorgânicos – hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto – com pH variando de 8 a 11, com turbidez coloidal acinzentada, cor do corante predominante usado, sólidos totais com teor de 1000 a 1600 mg/L e DBO variando de 200 a 600 mg/L.

A grande diversidade de corantes existentes no mercado, as diferentes técnicas empregadas no processo de tingimento e o tipo de fibra fazem com que os efluentes têxteis apresentem uma composição altamente variada (ANDRADE, 2003).

A cor presente nos efluentes é devida, principalmente, aos processos de tingimento e lavagem após o tingimento, onde até cerca de 50% do corante pode ser liberado na água residual (JOSHI et al., 2004).

Joshi et al. (2004) também destaca os principais motivos pelos quais a remoção da cor nos efluentes têxteis é considerada um grande problema no tratamento

das águas residuais como, o alto valor tintorial dos corantes presentes nos efluentes que, mesmo em pequenas porções, são capazes de afetar esteticamente as águas; a estrutura aromática complexa constituinte da maioria dos corantes, caracterizada pela resistência a atividade biológica, a luz, ao ozônio e outros a processos degradativos tornando difícil a sua remoção; possíveis riscos à saúde humana; comprometimento da atividade fotossintética dos ambientes aquáticos devido à redução da luz penetrante e também a toxicidade que pode representar a presença de corantes na água para a vida aquática.

### 3. 2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Em quesitos legais, no Brasil, a resolução CONAMA 357 de 2005 estabelece a classificação dos corpos d'água de acordo com os seus usos preponderantes e determina as condições e os padrões que devem ser obedecidos para o seu enquadramento. Esta resolução também dispunha sobre os padrões e as condições para o lançamento de efluentes, mas objetivando a melhoria das definições e adequação destes parâmetros, esta resolução foi complementada e alterada pela resolução CONAMA número 430 de 2011.

Segundo o Art. 3º da Resolução CONAMA 430/11 “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis”.

As condições de lançamento estabelecidas por essa resolução para qualquer tipo de fonte poluidora são:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes.

Quanto aos parâmetros cor verdadeira e turbidez a CONAMA 357 estabelece os padrões de acordo com a classe de enquadramento do rio da seguinte forma:

- Classe 1:

a) Turbidez: até 40 UNT;

b) Cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L.

- Classe 2 e 3:

a) Turbidez: até 100 UNT;

b) Cor verdadeira: 75 mg Pt/L.

### 3. 3 TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento de efluentes industriais consiste no conjunto de operações físicas e processos químicos e/ou biológicos que juntos formam os níveis preliminar, primário, primário avançado, secundário (com ou sem remoção de nutrientes) e avançado de tratamento (METCALF & EDDY, 2003).

No tratamento preliminar são removidos os constituintes mais grosseiros como, por exemplo, restos de tecidos e galhos que podem causar problemas operacionais ou de manutenção no sistema. No nível primário ocorre a remoção de uma parte dos sólidos em suspensão e da matéria orgânica presente no efluente. O tratamento



secundário envolve processos químicos e biológicos que são usados para remover a matéria orgânica biodegradável em solução ou em suspensão. Nesta fase também podem ser removidos nutrientes como o nitrogênio, o fósforo ou ambos. O tratamento avançado combina operações e processos com a finalidade remover sólidos suspensos residuais e outros constituintes que não foram reduzidos significativamente durante o tratamento secundário convencionalmente usado (METCALF & EDDY, 2003).

Os métodos usados no tratamento de efluentes podem ser de caráter:

- Físico: os métodos físicos têm como objetivo a remoção de sólidos flutuantes de grandes dimensões, sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras. Para isto, são utilizados instrumentos como grades, peneiras, decantadores, filtros, tanques para remoção de óleo e graxas, etc (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

- Químico: este método pode ser utilizado para a remoção de material coloidal, cor, turbidez, odor, metais pesados, óleos, bem como para neutralizar ácidos e bases. A neutralização dos ácidos e bases presentes nos despejos industriais pode ser realizada com a adição de reagentes químicos, sendo necessária, não só para a proteção do corpo hídrico receptor, mas como também para a proteção dos tratamentos a jusante do lançamento como, por exemplo, a depuração por métodos biológicos (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

- Biológico: os métodos biológicos utilizam microrganismos aeróbios ou anaeróbios para estabilizar os despejos (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

As partículas encontradas nos efluentes podem estar em suspensão ou na forma de coloides. As partículas em suspensão possuem tamanhos geralmente superiores a 1,0  $\mu\text{m}$  e podem ser facilmente removidas por sedimentação, enquanto que as partículas coloidais, por possuírem tamanhos inferiores, não sedimentam em um período de tempo razoável pelo processo de sedimentação. Sendo assim, métodos físico-químicos como a coagulação e a floculação, são empregados para ajudar na remoção destas partículas no tratamento de efluentes (METCALF & EDDY, 2003).

### 3. 3. 1 Coagulação e Floculação

Segundo Pavanelli (2001), a coagulação é o processo de desestabilização das partículas coloidais por meio da redução das forças de repulsão das cargas negativas, através da aplicação de produtos químicos como sais de ferro, alumínio ou de polímeros sintéticos.

As partículas coloidais tipicamente encontradas nos efluentes possuem carga superficial negativa. A carga superficial das partículas e coloides é uma propriedade elétrica de grande relevância, visto que, ela é responsável por manter as partículas em suspensão e impedir o processo de agregação por um longo período de tempo (DAVIS, 2010).

Segundo Di Bernardo (2005), quando uma partícula se torna carregada, íons de carga oposta se aderem a superfície, levando a formação de uma Dupla Camada Elétrica (DCE), tornando o meio circundante eletricamente neutro e afetando a distribuição íons ao seu redor.

A teoria de Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek, denominada DLVO, que descreve as interações entre as partículas indica que a estabilidade coloidal pode ser descrita como o resultado das interações entre a forças atrativas de Van der Waals e repulsivas da DCE (METCALF & EDDY, 2003; PAVANELLI, 2001).

Segundo Davis (2010), são quatro os tipos de mecanismos de desestabilização das partículas coloidais na coagulação:

a) Compressão da dupla camada: A desestabilização ocorre por meio da adição de íons de carga contrária. A presença em excesso destes íons comprime a dupla e reduz a força de repulsão entre as partículas permitindo que estas se unam, por meio do movimento browniano, e permaneçam ligadas devido as forças atrativas de Van der Waals (DAVIS, 2010; PAVANELLI, 2001).

b) Adsorção e neutralização de carga: A neutralização das cargas é ocasionada pela adição de sais metálicos ionizados, polímeros catiônicos e sais metálicos pré-hidrolisados de carga positiva (DAVIS, 2010).

c) Adsorção e formação de pontes: Polímeros com sítios ionizáveis ao longo de suas cadeias, se adsorvem à superfície coloidal, formando pontes entre as partículas.

d) Varredura: este mecanismo ocorre quando doses superiores a de saturação de hidróxidos metálicos e de sais metálicos em solução formam precipitados que capturam os coloides (DAVIS, 2010).

A floculação tem como propósito a formação de partículas maiores, denominadas flocos, através do encontro e agrupamento das partículas desestabilizadas na coagulação, para que possam ser removidas por processos de separação como a sedimentação, flotação e a filtração (DI BERNARDO, 2005; HENZE et al.,2002).

O encontro das partículas é induzido pela introdução de energia mecânica na massa líquida e, para que a floculação ocorra de forma eficiente, o gradiente de velocidade da mistura deve ser suficientemente alto para favorecer a colisão entre as partículas e permitir a sua aglomeração, bem como, suficientemente baixo para evitar que os flocos formados se desfaçam (DAVIS, 2010; METCALF & EDDY, 2003).

Segundo Davis (2010) são dois os mecanismos de floculação:

a) Floculação pericinética: ocorre em partículas pequenas ( $< 0,1 \mu\text{m}$  de diâmetro) e é consequência do movimento browniano.

b) Floculação ortocinética: é causada pela mistura da massa d'água, ocorrendo em partículas com diâmetros maiores que  $1 \mu\text{m}$  de diâmetro.

### 3. 3. 2. Sedimentação

Sedimentação é o termo que nomeia a fenômeno físico no qual, por ação gravitacional, as partículas em suspensão descendem em meio líquido de menor densidade (DI BERNARDO, 2005)

É a operação unitária mais amplamente utilizada na remoção de matérias coloidais ou em suspensão no tratamento de águas residuárias. Na maioria dos casos, o principal propósito da sedimentação é clarificar os efluentes, mas também deve ser capaz de produzir lodos com concentrações de sólidos que sejam de fácil manuseio e tratamento (METCALF & EDDY, 2003).

A sedimentação pode ocorrer de quatro formas diferentes, classificadas de acordo com a concentração e a tendência de interação entre as partículas. O Quadro 1 apresenta uma breve descrição desses quatro tipos de sedimentação e exemplos de aplicação (DI BERNARDO, 2005; METCALF & EDDY, 2003).

Tipo	Descrição	Exemplo de aplicação
Partículas discretas	Sedimentação em suspensões com baixa concentração de sólidos, sem grandes interações entre as partículas, em velocidade constante.	Remoção de sólidos grosseiros e areias
Partículas floculantes	Ocorre em suspensões diluídas, onde as partículas se aglutinam por coalescência, sedimentando-se mais rapidamente.	Remove uma porção dos sólidos em suspensão tanques de sedimentação primário, em maiores proporções nas instalações secundárias e também flocos formados por processo de coagulação/floculação.
Zona	Ocorre em suspensões com concentrações intermediárias, nas quais as partículas tendem a interagir e se sedimentar como uma massa única.	Tratamentos secundários, associados a tratamentos biológicos.
Compressão	Em suspensão com elevadas concentrações, as partículas formam uma estrutura, e a sedimentação ocorrerá através da compressão das camadas inferiores.	Ocorre no fundo de decantadores secundários.

**Quadro 1 – Mecanismos de sedimentação utilizados no tratamento de efluentes**  
**Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003)**

### 3. 4 COAGULANTES

Os produtos químicos usados no processo de coagulação/floculação são denominados coagulantes. Coagulante é um produto químico adicionado para desestabilizar as partículas coloidais de modo que a formação de flocos possa acontecer (METCALF & EDDY, 2003).

Os principais produtos químicos usados no tratamento de efluentes são o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, polieletrólito catiônico e a cal (NUNES, 2012).

#### 3. 4. 1 Coagulantes químicos

##### 3. 4. 1. 1 Sulfato de alumínio

Usado desde no tratamento de água desde os egípcios, o sulfato de alumínio, é atualmente um dos coagulantes inorgânicos mais utilizado no mundo e proporciona a eliminação quase total dos sólidos em suspensão ou coloidais presentes nos efluentes (CAVALCANTI, 2009).

Quando adicionado a um efluente alcalino forma um floco, gelatinoso e insolúvel, que arrasta lentamente o material em suspensão e coloidal em seu processo de sedimentação ou flotação (CAVALCANTI, 2009).

Costa et al. (2013), estudou a eficiência do tratamento de efluentes têxteis usando o sulfato de alumínio e o cloreto férrico como coagulantes. Os parâmetros avaliados foram o pH, a turbidez, sólidos suspensos totais (SST), DQO, DBO, carbono orgânico total, nitrato e surfactantes. Os resultados demonstraram que ambos os coagulantes removeram mais de 90% da turbidez presente no efluente. Com relação aos outros parâmetros, o sulfato de alumínio removeu 85,3% dos SST, 79,1% da DQO,

83,2% da DBO, 80,3% do carbono orgânico total, menos de 1% de nitrato e 34,5% de surfactante, com dosagem ótima de 9,6 g/L, para um tempo de decantação de 3 horas e 180 segundos de mistura rápida.

Fortino (2012) avaliou o tratamento por coagulação/floculação de efluente têxtil combinado com processos de separação por membranas, utilizando como coagulantes o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Na avaliação do processo de coagulação/floculação foram testadas diferentes dosagens de coagulante (30, 50, 70 e 100 mg/L) e o melhor resultado para a redução da turbidez com sulfato de alumínio foi de 95%, na concentração de 70 mg/L e de 94,4% com dosagem de 50 mg/L para o cloreto férrico.

#### 3. 4. 2 Coagulantes naturais

Diversos estudos apontam que o uso de coagulantes metálicos no processo de coagulação/floculação apesar de apresentar resultados satisfatórios, adicionam elementos químicos a água residual e também geram grandes quantidades de lodo de difícil degradação sendo assim, ambientalmente indesejáveis (BONGIOVANI et al. 2010).

Em busca de alternativas para esta problemática o número de estudos empregando polímeros naturais como o tanino, a *Moringa oleifera* e a quitosana vem crescendo como uma alternativa para o tratamento de água e efluentes, buscando a melhoria na eficiência do processo, bem como a formação de lodos menos complexos e em menores quantidades.

Ströher et al (2012) utilizou o tanino como coagulante no tratamento de efluentes de estamparia e também realizou análises complementares para verificar a presença de metais, acidez volátil, alcalinidade, sólidos totais e DBO5 no efluente bruto e tratado para melhor caracterizá-los. Os resultados obtidos demonstraram que o tanino foi capaz de reduzir a DQO, cor e turbidez em 94,81%, 99,65% e 99,17% respectivamente. Para os metais, após o tratamento, as concentrações encontradas

foram abaixo das estabelecidas pela resolução CONAMA 430/11, com exceção do arsênio e do mercúrio.

Silva et al. (2008), estudou a utilização da *Moringa oleifera* e da quitosana no tratamento do efluentes têxteis, correlacionando-os com o tratamento convencional que utiliza o cloreto férrico e o sulfato de alumínio como coagulantes. Seus resultados demonstraram um que os coagulantes naturais tiveram desempenhos similares aos coagulantes químicos convencionalmente usados.

#### 3. 4. 2. 1 *Moringa oleifera*

*Moringa oleifera* é uma planta pertencente à família das Moringaceae, originária da Índia, e cultivada em muitos países tropicais. Tem como características principais a fácil adaptação, reprodução, rápido desenvolvimento e resistência à seca (OKUDA et al., 2001).

É uma planta perene, de tronco ereto, com casca esbranquiçada e altura variando de 5 a 12 metros. Suas folhas têm formato de pena, possuem coloração verde-pálido e variam de 30 a 60 cm de comprimento. As flores são relativamente grandes, de coloração branca ou creme e os seus frutos são de cor verde a marrom esverdeada, em formato de vagem com comprimento variado e 1,8 cm de espessura e apresentam sementes de coloração amarronzada (Figura 1) (RANGEL, 1999; SBRT, 2013).

Quase todas as partes da *Moringa oleifera* são utilizadas na alimentação, suas folhas são conhecidas pelo seu alto poder nutritivo, possuem grandes quantidades de vitaminas A e C, proteínas, além de serem uma ótima fonte de cálcio, ferro e fósforo, sendo amplamente utilizadas como suplemento alimentar fonte de proteínas e cálcio para pessoas desnutridas. A planta também pode ser utilizada na nutrição animal e como quebra-vento nas plantações agrícolas (RANGEL, 1999).

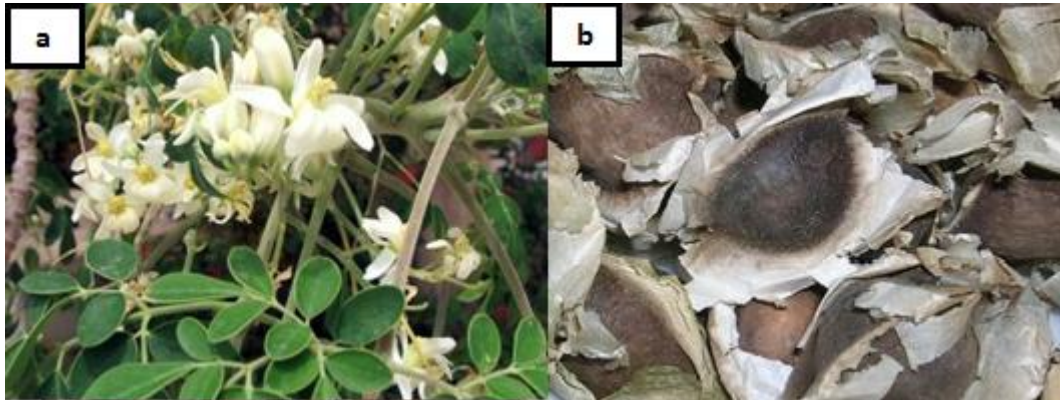


Figura 1 – Planta e produtos da *Moringa oleifera* (a) Flores - Fonte: <http://ideiaweb.org/?p=1462>; (b) Sementes descascadas - Fonte: autoria própria

Por se tratar de uma planta de sementes oleaginosas, estudos vem sendo desenvolvidos com o objetivo de avaliar o seu potencial como matéria-prima para a produção de biodiesel.

Pereira (2011) estudou o óleo produzido pelas sementes com esta finalidade. Os resultados demonstraram que o óleo é de excelente qualidade, sendo comparável ao óleo de oliva, com um percentual elevado de ácido aléico (cerca de 78%) e uma excelente estabilidade a oxidação (93 horas). O autor avaliou a potencialidade da utilização do óleo na produção de biodiesel pelas reações de transesterificação, hidroesterificação e a transesterificação *in situ*, obtendo valores de conversão em éster maiores que 90%, nas duas primeiras reações e destacando a estabilidade a oxidação maior que 300 horas, obtida na reação de transesterificação *in situ*. Segundo o autor, estes resultados indicam que a *Moringa oleifera*, apresenta grande potencial para se inserir dentre o grupo das oleaginosas produtoras de biodiesel no Brasil.

Oliveira et al. (2012), também estudou a produção de biodiesel através da reação de esterificação, além disso, realizou a caracterização do óleo e do biodiesel de acordo com as normas estabelecidas pela ANP. No processo de obtenção do óleo, o teor médio extraído das sementes foi de 40%, sendo, segundo o autor, superior ao encontrado na literatura para outras oleaginosas como, por exemplo, a soja. O rendimento de biodiesel após a reação de esterificação foi de 83,68%. Com relação aos valores estabelecidos pela ANP para as características físico-químicas massa



específica, água, sedimentos, índice de acidez e viscosidade para o biodiesel, apenas a viscosidade (13,56 Cst) ultrapassou o limite definido de 3 a 6 (Cst), o que, conforme comenta o autor, pode ser resultado da influência das propriedades do ácido aléico, presente em grandes quantidades no óleo.

A aplicação da semente como coagulante natural no tratamento de água para uso doméstico e no tratamento de efluentes industriais também vem sendo alvo de estudos. A *Moringa oleifera* apresenta vantagens em relação aos coagulantes químicos devido ao fato de ser natural e biodegradável, não alterar significativamente o pH, bem como, pelo fato de produzir lodos menos complexos e não apresentar riscos à saúde (PEREIRA, 2011).

Segundo Okuda (1999), a atividade das sementes como coagulante se deve a presença de proteínas catiônicas diméricas de alto peso molecular.

Ao estudar a composição química das sementes, Gallão, Damasceno e Brito (2006), verificaram que a proteína é o composto encontrado em maior quantidade, representando aproximadamente 40% da sua composição.

Segundo Ndabigengesere, Narasiah e Talbot (1995), os principais mecanismos envolvidos na ação coagulante das sementes são a adsorção e neutralização de cargas.

Vieira et al. (2008), comparou o desempenho de uma solução coagulante produzida a partir da semente com outra obtida a partir da casca da *Moringa oleifera* no tratamento de efluente da indústria de laticínios, verificando uma maior eficiência no tratamento com a solução gerada pelas sementes.

Buscando aprimorar a extração do princípio ativo das sementes, Okuda (2001) comparou diferentes métodos e concluiu que a extração do componente utilizando solução salina é mais eficiente na redução da turbidez do que quando extraído com água.

Eman et al. (2009), verificou a viabilidade da aplicação das sementes como uma alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água. Os resultados apresentaram uma remoção de turbidez de 95,5%, 98,3% e 99,3% usando as respectivas concentrações de 0,05, 0,15 e 0,30 mg/L para água de baixa, média e alta turbidez, respectivamente.

Santos et al. (2011) aplicou a *Moringa oleifera* como coagulante para a separação água/ óleo de efluente resultante da extração de petróleo e comparou a sua eficiência com o coagulante químico sulfato de alumínio, geralmente usado nas indústrias de petróleo. Os parâmetros analisados foram a remoção de óleos e graxas (TOG) e de turbidez. Os resultados demonstraram que, ambos os coagulantes se mostraram eficientes na redução da turbidez, sendo a *Moringa oleifera* mais eficiente neste caso, com 85,2% de redução e o sulfato de alumínio com 80%. Com relação a remoção de TOG, os melhores resultados foram apresentados pelo sulfato de alumínio, com remoção de 86% contra 82% da *Moringa oleifera*, apesar de não apresentar uma diferença discrepante, o autor sugere que estes resultados poderiam ser mais satisfatórios se algumas variáveis do processo fossem melhoradas.

Monaco et al. (2010), avaliou a eficiência do extrato de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante na remoção de turbidez e coliformes de esgoto doméstico, de suinocultura e no tratamento de água para abastecimento público. Para a turbidez, observou-se que os melhores resultados foram aqueles em que ambos os valores, de concentração e tempo, foram menores. A redução da turbidez na água de abastecimento foi de 98% com concentração de 0,4g/L para o tempo de sedimentação de 2 horas. Neste estudo, as sementes não apresentaram resultados satisfatórios na redução da turbidez do esgoto doméstico e de suinocultura, mas foram extremamente positivas na remoção de coliformes, alcançando valores de remoção de 95,6% de coliformes totais e 94,3% de coliformes fecais no esgoto doméstico e 96,5 e 94,5% de remoção de coliformes totais e fecais, respectivamente, no efluente de suinocultura.

Com relação ao tratamento de efluentes têxteis, Couto Junior et al. (2012), estudou a utilização da *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de efluente de estamparia industrial e verificou a eficiência da remoção da cor, DQO e turbidez. A *Moringa oleifera* foi capaz de reduzir 97,28% da cor do efluente, 97,30% da turbidez e 72,55% da DQO, com concentração ótima maior que 2500 mg/L. Com relação a análise de metais, utilizando a concentração ótima, os resultados demonstraram que a *Moringa oleifera* conseguiu reduzir a quantidade de metais presentes no efluente bruto a valores inferiores aos estabelecidos pela resolução CONAMA n°357/05, exceto para o arsênio e mercúrio.

Borborema et al. (2012), avaliou influência da variação da temperatura e concentração na remoção da cor e turbidez de efluentes têxteis usando a *Moringa oleifera* como coagulante. Os resultados de remoção de cor e turbidez alcançaram valores superiores a 90,20% e 55,48%, respectivamente. Com relação a temperatura, verificou-se que não existe uma interferência significativa nos resultados, enquanto que, para a variação da concentração de coagulante constatou-se que quanto maior a concentração, maior será a clarificação.

Ströher et al. (2012) estudou o uso das sementes no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans e obteve remoções superiores a 80,33% e 91,10% para cor e turbidez utilizando um pó coagulante preparado a partir das sementes secas e trituradas de *Moringa oleifera*.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 COLETA DO EFLUENTE E LOCAL DOS ENSAIOS

O efluente foi coletado de uma indústria têxtil localizada no município de Apucarana, no Estado do Paraná (Figura 2). A amostragem foi realizada no tanque de equalização, no qual, o efluente já se encontrava com o pH corrigido pela própria empresa.



**Figura 2 – Localização do município de Apucarana – PR**  
Fonte: Wikipédia

Ao total foram coletados 65 L de efluente, os quais foram armazenados em recipientes de plásticos (bombonas) de 25L cada.

Os ensaios e as análises foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná localizada no município de Londrina – Paraná.

### 4.2 PARÂMETROS ANALISADOS

Foram analisados os parâmetros de cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, pH e sólidos totais, de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

A Tabela 1 apresenta as metodologias e os equipamentos que foram utilizadas na determinação de cada um destes parâmetros.

**Tabela 1 – Metodologias para as análises dos parâmetros físico-químicos**

Parâmetro	Metodologia
Cor aparente	Método espectrofotometria - 2120 – C
Turbidez	Método nefelométrico - 2130 – B
Condutividade elétrica	Método de laboratório - 2510 – B
pH	Método eletrométrico - 4500 H + B
Sólidos totais	2540 – A

#### 4.3 PRÉ – ENSAIO

A realização de um ensaio prévio fez-se necessária para determinar as condições ideais para o desenvolvimento do estudo, principalmente, no que diz respeito à quantidade de solução coagulante utilizada.

No pré-ensaio foram determinadas as faixas de dosagem de coagulante máximas e mínimas de trabalho para os três tratamentos utilizados:

- Tratamento 1: aplicação do Sulfato de Alumínio como coagulante químico;
- Tratamento 2: aplicação da solução de *Moringa oleifera* como coagulante natural;
- Tratamento 3: combinação entre 50% de Sulfato de Alumínio e 50% de *Moringa oleifera*.

Assim, as concentrações que obtiveram a melhor eficiência notando-se certo grau de floculação, foram utilizadas posteriormente e a concentração ideal, bem como, as concentrações intermediárias foram determinadas através do método do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para complementação do ensaio.

As concentrações determinadas no pré-ensaio foram de 300 mgL<sup>-1</sup> como mínima e 800 mgL<sup>-1</sup> como máxima para os três tratamentos.

#### 4. 4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Objetivando melhorar a qualidade obtida nos resultados e a redução do número de ensaios, o planejamento experimental adotado neste trabalho foi o delineamento composto central rotacional (DCCR) de ordem fatorial  $2^2$  para as variáveis independentes: concentração da solução coagulante e tempo de sedimentação.

A Tabela 2 apresenta os valores codificados do DCCR e os valores reais que foram usados nos ensaios.

**Tabela 2 – Valores codificados do DCCR e reais de concentração e tempo de sedimentação**

Ensaio	Concentração (mgL <sup>-1</sup> )		Tempo (min)	
	Código	Valor	Código	Valor
1	-1,00000	372,695	-1,00000	6
2	0,00000	550	0,00000	20
3	1,41421	800	0,00000	20
4	0,00000	550	1,41421	40
5	1,00000	727,305	-1,00000	6
6	0,00000	550	-1,41421	0
7	0,00000	550	0,00000	20
8	-1,00000	372,695	1,00000	34
9	1,00000	727,305	1,00000	34
10	-1,41421	300	0,00000	20

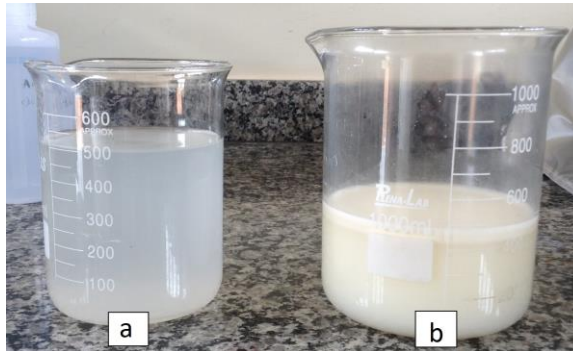
A análise dos resultados foi feita no software Estatística usando a metodologia DCCR. Verificou-se o efeito das variáveis independentes – tempo de sedimentação e concentração de coagulantes - sobre as variáveis resposta - cor, turbidez, sólidos totais e pH por meio da análise de variância (ANOVA) considerando um coeficiente de confiança de 10%, por se tratar de um efluente.

Para melhor compreender os pontos ótimos também foram geradas as superfícies resposta algumas variáveis.

#### 4. 5 PREPARAÇÃO DAS SOLUÇÕES COAGULANTES

A solução de sulfato (Figura 3a) de alumínio foi preparada adicionando-se 50 gramas de sulfato de alumínio a 500 ml de água destilada (Figura 5a) sob agitação manual, para garantir a sua completa homogeneização.

A solução coagulante de *Moringa oleifera* (Figura 3b) foi preparada triturando-se, em um liquidificador, 50 gramas de semente juntamente com 500 mL de solução salina 1M de NaCl. Posteriormente, a solução foi peneirada em um coador de pano.



**Figura 3 – (a) Solução de Sulfato de Alumínio; (b) Solução de *Moringa oleifera***  
Fonte: Própria autoria.

#### 4. 6 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Tendo os valores das concentrações e tempos de sedimentação previamente determinados pelo DCCR, após a realização do pré-ensaio, iniciou-se os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, os quais, foram executados em equipamento Jar-test (Figura 4), modelo de fabricação 218/06 LDB de marca Nova Ética, com capacidade para 6 jarros.



**Figura 4 – Equipamento Jar-Test**  
**Fonte: Própria autoria**

Após o preenchimento e homogeneização do efluente nos jarros, as concentrações de coagulante foram adicionadas simultaneamente e, posteriormente, adotou-se a agitação inicial intensa de 150 rpm por 3 minutos e, em seguida, a agitação lenta de 15 rpm por 10 minutos para propiciar uma boa constituição dos flocos e agregação das impurezas, seguindo metodologia adaptada de Theodoro (2012).

Ao final do tempo de agitação lenta, o equipamento foi desligado e, após 3 minutos, iniciou-se o processo de sedimentação. A partir de então a coleta do material foi realizada no tempo total de 40 minutos e nos intervalos de coleta determinados através do método DCCR (Tabela 2).



## 5 RESULTADOS

Com o objetivo de realizar a comparação entre os tratamentos e garantir a qualidade dos resultados, para cada dia de ensaio foram realizadas análises dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto, totalizando duas repetições, e ao final usou-se a média. As médias dos resultados obtidos são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resultados dos parâmetros analisados para o efluente bruto**

<b>Parâmetro</b>	<b>Média</b>
pH	7,60
Condutividade (mScm <sup>-1</sup> )	5,90
Turbidez (UNT)	172
Cor (Ptco)	1555
Sólidos totais (mgL <sup>-1</sup> )	6,11

**Fonte: APHA, 2012.**

Os resultados obtidos em cada um dos três tratamentos são apresentados a seguir e estão estruturados em tópicos, sendo cada um referente a uma das variáveis respostas estudadas: pH, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente e sólidos totais.

### 5.1 pH

A Tabela 4 apresenta os valores para a variável pH nos três tratamentos usados e a seguir são discutidos o comportamento que cada um dos coagulantes provocou sobre essa variável, bem como a representatividade do modelo gerado para cada tratamento.

Tabela 4 – Resultados para a variável pH.

Ensaio	Concentração (mgL <sup>-1</sup> )	Tempo (min)	<i>Moringa oleifera</i>	Sulfato de alumínio	Combinação
1	373	6	7,50	5,87	6,63
2	550	20	7,43	6,13	6,59
3	800	20	7,46	5,80	6,42
4	550	40	7,43	6,13	6,58
5	727	6	7,48	6,43	6,44
6	550	0	7,56	6,28	6,49
7	550	20	7,45	6,08	6,59
8	373	34	7,44	6,52	6,42
9	727	34	7,43	5,88	6,64
10	300	20	7,59	6,51	6,76

### 5.1.1 *Moringa oleifera*

A partir da Tabela 4, verifica-se que o tratamento com a *Moringa oleifera* não provocou alterações expressivas no pH em relação ao valor do efluente bruto. Esse comportamento também foi verificado por Silva (2008) no tratamento de efluente têxtil, corroborando com o argumento de Pereira (2011) sobre a propriedade que a semente possui de não alterar o pH do meio aquoso.

Os valores obtidos de pH estão de acordo com os padrões instituídos pela resolução CONAMA 430/2011 que permite o lançamento de efluentes com pH entre 5 e 9 após o tratamento.

Por meio da Tabela 5 verifica-se que, ao nível de significância de 10%, apenas o tempo de sedimentação linear (TL) foi significativo.

Tabela 5 – Tabela de efeitos estimados para o pH no tratamento com *Moringa oleifera*

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coef.	Coef. erro padrão	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	7,43967	0,03223	230,8011	0,00000	7,37095	7,50839	7,43967	0,03223	7,37095	7,50839
<b>CL</b>	-0,05348	0,03228	-1,65670	0,17292	-0,12231	0,01534	-0,02674	0,01614	-0,06115	0,00767
<b>CQ</b>	0,06179	0,04293	1,43950	0,22341	-0,02972	0,15331	0,03090	0,02146	-0,01486	0,07665
<b>TL</b>	<b>-0,07318</b>	<b>0,03207</b>	<b>-2,28180</b>	<b>0,08462</b>	<b>-0,14155</b>	<b>-0,00481</b>	<b>-0,03659</b>	<b>0,01604</b>	<b>-0,07078</b>	<b>-0,00241</b>
<b>TQ</b>	0,03140	0,04197	0,74820	0,49592	-0,05807	0,12088	0,01570	0,02099	-0,02904	0,06044
<b>CT</b>	0,00500	0,04559	0,10970	0,91795	-0,09219	0,10219	0,00250	0,02279	-0,04609	0,05109

A equação que descreve o modelo é dada pela Equação 1 e possui  $R^2$  de 71,5%.

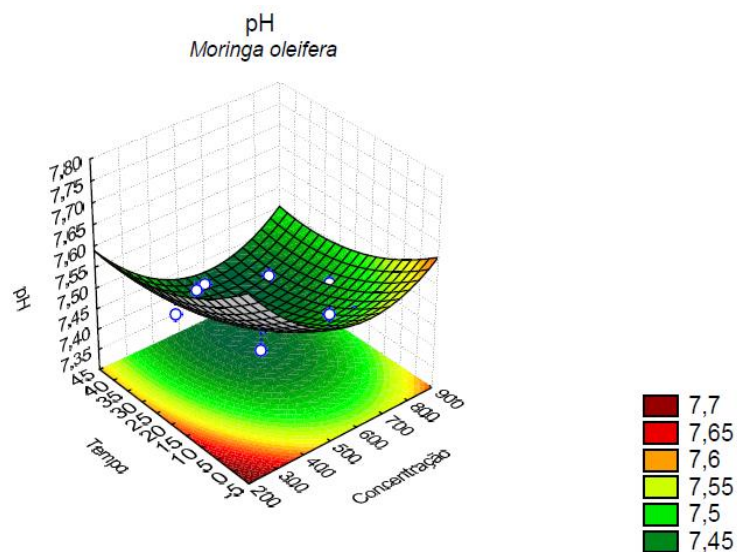
$$\text{pH} = 7,439667 - 0,036591T \quad (1)$$

A Tabela 6 apresenta a análise de variância (ANOVA). A partir dela é possível verificar que apenas o fator tempo de sedimentação linear realmente produziu efeitos significativos no pH.

**Tabela 6 – ANOVA para o pH no tratamento com *Moringa oleifera***

Fator	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p-valor
CL	0,005704	1	0,005704	2,744751	0,172915
CQ	0,004306	1	0,004306	2,072242	0,223412
<b>TL</b>	<b>0,010820</b>	<b>1</b>	<b>0,010820</b>	<b>5,206704</b>	<b>0,084617</b>
TQ	0,001163	1	0,001163	0,559825	0,495924
CT	0,000025	1	0,000025	0,012030	0,917945
Erro	0,008313	4	0,002078		
<b>Total</b>	<b>0,029210</b>	<b>9</b>			

Na superfície resposta apresentada na Figura 5 é possível observar que os valores de pH mais próximos da neutralidade se encontraram na região de concentrações mais elevadas do coagulante – cerca 700 a 800  $\text{mgL}^{-1}$  – e tempos de sedimentação próximos ao tempo de coleta de 40 minutos.



**Figura 5 –Superfície resposta para o pH no tratamento com *Moringa oleifera***

### 5.1.2 Sulfato de alumínio

O tratamento com sulfato de alumínio provocou um decréscimo do pH em relação ao efluente bruto, como pode-se verificar na Tabela 4. Os valores variaram de 5,80 a 6,52, mas ainda se enquadram nos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 430/2011.

Na tabela de efeitos estimados (Tabela 7) observa-se que ao nível de significância de 10% a concentração linear (CL) e a interação entre as duas variáveis independentes foram significativas (CT).

**Tabela 7 – Tabela de efeitos estimados para o pH no tratamento com sulfato de alumínio**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	6,104971	0,122744	49,73727	0,000001	5,843298	6,366643	6,104971	0,122744	5,843298	6,366643
<b>CL</b>	-0,27108	0,12293	-2,20516	0,092121	-0,53315	-0,00901	-0,135541	0,061465	-0,26658	-0,00451
<b>CQ</b>	0,048215	0,163459	0,29496	0,782697	-0,30026	0,396684	0,024107	0,081729	-0,15013	0,198342
<b>TL</b>	-0,02828	0,122126	-0,23159	0,828223	-0,28864	0,232071	-0,014141	0,061063	-0,14432	0,116035
<b>TQ</b>	0,096022	0,159817	0,60082	0,580343	-0,24468	0,436729	0,048011	0,079909	-0,12234	0,218364
<b>CT</b>	-0,6	0,173591	-3,4564	0,025903	-0,97007	-0,22993	-0,3	0,086796	-0,48504	-0,11497

A Equação 2 descreve o modelo de regressão ajustado apenas para as duas variáveis significativas.

$$\text{pH} = 6,1630 - 0,135541C - 0,3CT \quad (2)$$

Pelo teste de análise de variância (Tabela 8), verifica-se que o p-valor foi menor que o coeficiente de significância de 10%, indicando que o modelo consegue representar os efeitos observados nos ensaios, com  $R^2$  de 79,14%.

Na superfície resposta, exibida na Figura 6, percebe-se que o pH mais próximo a 7,0 localiza-se, principalmente, nas regiões de maior tempo de sedimentação e menor concentração de coagulante.

Tabela 8 – ANOVA para o pH no tratamento com sulfato de alumínio

Fator	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p-valor
<b>CL</b>	<b>0,146533</b>	<b>1</b>	<b>0,146533</b>	<b>4,862740</b>	<b>0,092121</b>
<b>CQ</b>	0,002622	1	0,002622	0,087000	0,782697
<b>TL</b>	0,001616	1	0,001616	0,053630	0,828223
<b>TQ</b>	0,010878	1	0,010878	0,360990	0,580343
<b>CT</b>	<b>0,360000</b>	<b>1</b>	<b>0,360000</b>	<b>11,946690</b>	<b>0,025903</b>
<b>Erro</b>	0,120535	4	0,030134		
<b>Total</b>	0,639610	9			

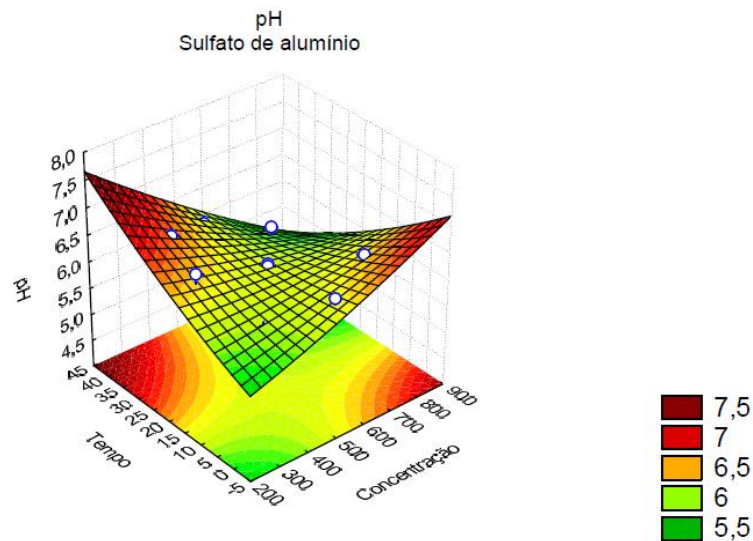


Figura 6 –Superfície resposta para o pH no tratamento com sulfato de alumínio

### 5.1.3 Combinado

No tratamento usando a combinação entre os coagulantes verificou-se uma redução no pH em relação ao efluente bruto (Tabela 4), mas, ainda assim, apresentou valores dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 430.

Apenas o fator de interação entre concentração e tempo de sedimentação (CT) apresentou p-valor menor que 0,1, como pode-se verificar na tabela de efeitos estimados (Tabela 9), sendo assim o único fator significativo.

**Tabela 9 – Tabela de efeitos estimados para o pH no tratamento combinado**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	6,589784	0,067932	97,00615	0	6,444965	6,734604	6,589784	0,067932	6,444965	6,734604
<b>CL</b>	-0,11269	0,068035	-1,65629	0,173004	-0,25773	0,032354	-0,056343	0,034017	-0,12886	0,016177
<b>CQ</b>	-0,01535	0,090465	-0,16966	0,873513	-0,20821	0,177509	-0,007674	0,045232	-0,1041	0,088754
<b>TL</b>	0,029343	0,067589	0,43414	0,686576	-0,11475	0,173434	0,014672	0,033795	-0,05737	0,086717
<b>TQ</b>	-0,06846	0,088449	-0,774	0,482131	-0,25702	0,1201	-0,03423	0,044225	-0,12851	0,06005
<b>CT</b>	<b>0,205</b>	<b>0,096072</b>	<b>2,13381</b>	<b>0,099779</b>	<b>0,000189</b>	<b>0,409811</b>	<b>0,1025</b>	<b>0,048036</b>	<b>0,000094</b>	<b>0,204906</b>

Após a exclusão dos demais fatores não significativos, obteve-se a Equação 3 que descreve o modelo.

$$\text{pH} = 6,556 + 0,1025\text{CT} \quad (3)$$

A Tabela 10 traz a ANOVA para o modelo onde pode-se verificar ao nível de significância de 10% que o modelo é adequado com de  $R^2$  de 60,2%, indicando que o modelo consegue explicar 60,2% os resultados observados experimentalmente.

**Tabela 10 – ANOVA para o pH no tratamento combinado**

Fator	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p-valor
<b>CL</b>	0,025320	1	0,025320	2,743308	0,173004
<b>CQ</b>	0,000266	1	0,000266	0,028784	0,873513
<b>TL</b>	0,001740	1	0,001740	0,188480	0,686576
<b>TQ</b>	0,005529	1	0,005529	0,599081	0,482131
<b>CT</b>	<b>0,042025</b>	<b>1</b>	<b>0,042025</b>	<b>4,553154</b>	<b>0,099779</b>
<b>Erro</b>	0,036919	4	0,009230		
<b>Total</b>	0,111840	9			

A Figura 7 mostra a superfície resposta para o modelo. A partir dela verifica-se que os valores mais próximos a 7 estão localizados nas áreas com coloração avermelhada, nas duas extremidades da curva. Dessa forma, pode-se dizer que o pH é menor em condições de elevada concentração de coagulante e baixo tempo de sedimentação e vice-versa.

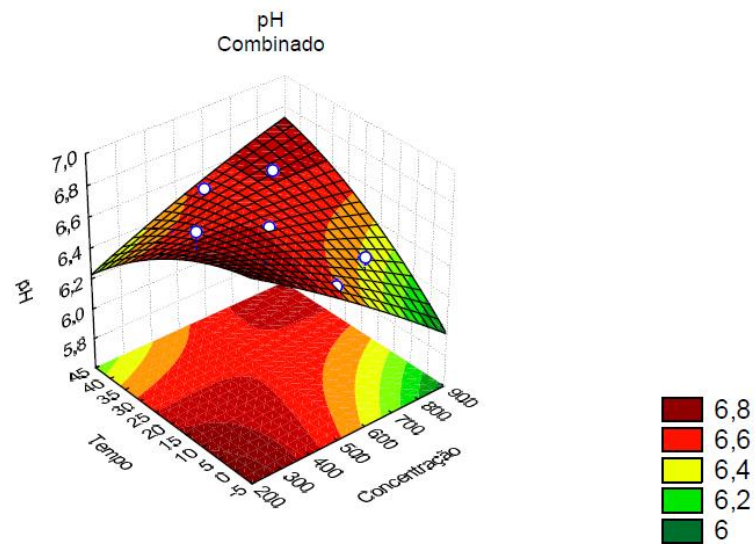


Figura 7 –Superfície resposta para o pH no tratamento combinado

## 5.2 Condutividade elétrica

A Tabela 11 traz os resultados de condutividade elétrica obtidos em cada um dos três tratamentos utilizados nesse estudo.

**Tabela 11 – Resultados para a variável condutividade elétrica.**

Ensaio	Concentração (mgL <sup>-1</sup> )	Tempo (min)	<i>Moringa Oleífera</i>	Sulfato de alumínio	Combinação
1	373	6	6,2	5,9	5,98
2	550	20	6,35	5,89	6,07
3	800	20	6,5	5,91	6,15
4	550	40	6,35	5,9	5,88
5	727	6	6,23	5,86	6,14
6	550	0	6,34	5,89	6,1
7	550	20	6,36	5,88	6,07
8	373	34	6,23	5,84	6,15
9	727	34	6,21	5,94	5,99
10	300	20	6,13	5,86	5,96

### 5.2.1 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* proporcionou um aumento nos valores de condutividade elétrica (C.E.) após o tratamento. Por meio da Tabela 12, pode-se verificar que quanto maior a concentração de coagulante aplicado, maior a média da condutividade elétrica do efluente tratado. Esse comportamento pode estar relacionado ao uso de solução salina na preparação da solução coagulante, o que propicia uma maior disponibilidade de íons dissolvidos em solução. Lima (2015) verificou uma diminuição da condutividade elétrica em águas com elevados valores de turbidez tratadas apenas com o pó das sementes, o que reforça essa hipótese.

**Tabela 12 – Média da condutividade elétrica por concentração de coagulante**

Concentração (mgL <sup>-1</sup> )	Média da C.E. (mScm <sup>-1</sup> )
300	6,13
327,7	6,22
550	6,35
727,3	6,22
800	6,5

Estatisticamente, observou-se que a condutividade elétrica não possui comportamentos distintos no que diz respeito às variáveis independentes, como mostrado na Tabela 13, nenhum fator apresentou p-valor menor que 0,1.

**Tabela 13 – Tabela de efeitos estimados para o pH no tratamento com sulfato de alumínio**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coef.	Coef. erro padrão	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	6,35421	0,08556	74,26952	0,00000	6,17181	6,53660	6,35421	0,08556	6,17181	6,53660
<b>CL</b>	0,13332	0,08569	1,55594	0,19471	-0,04935	0,31599	0,06666	0,04284	-0,02467	0,15800
<b>CQ</b>	-0,09675	0,11394	-0,84916	0,44363	-0,33964	0,14614	-0,04838	0,05697	-0,16982	0,07307
<b>TL</b>	0,00601	0,08513	0,07060	0,94710	-0,17546	0,18748	0,00301	0,04256	-0,08773	0,09374
<b>TQ</b>	-0,06341	0,11140	-0,56921	0,59966	-0,30089	0,17407	-0,03170	0,05570	-0,15045	0,08704
<b>CT</b>	-0,02500	0,12100	-0,20662	0,84640	-0,28295	0,23295	-0,01250	0,06050	-0,14147	0,11647

## 5.2.2 Sulfato de alumínio



Pela Tabela 11 verifica-se que o sulfato de alumínio provocou alterações mínimas nos valores de condutividade elétrica após o tratamento.

Na Tabela 14 é possível observar que as variáveis consideradas significativas, ou seja, que tiveram influência sobre a variável resposta foram a concentração linear (CL), tempo de sedimentação linear (TL) e a interação entre os fatores (CT).

**Tabela 14 – Tabela de efeitos estimados para C.E. no tratamento com sulfato de alumínio**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
Média	5,884965	0,003837	1533,891	0	5,876786	5,893145	5,884965	0,003837	5,876786	5,893145
<b>CL</b>	<b>0,032722</b>	<b>0,003842</b>	<b>8,516</b>	<b>0,001043</b>	<b>0,024531</b>	<b>0,040914</b>	<b>0,016361</b>	<b>0,001921</b>	<b>0,012265</b>	<b>0,020457</b>
<b>CQ</b>	<b>-0,00246</b>	<b>0,005109</b>	<b>-0,482</b>	<b>0,655109</b>	<b>-0,01335</b>	<b>0,00843</b>	<b>-0,001231</b>	<b>0,002555</b>	<b>-0,00668</b>	<b>0,004215</b>
<b>TL</b>	<b>0,008485</b>	<b>0,003817</b>	<b>2,223</b>	<b>0,090337</b>	<b>0,000347</b>	<b>0,016623</b>	<b>0,004242</b>	<b>0,001909</b>	<b>0,000173</b>	<b>0,008311</b>
<b>TQ</b>	<b>0,007465</b>	<b>0,004995</b>	<b>1,494</b>	<b>0,209405</b>	<b>-0,00319</b>	<b>0,018114</b>	<b>0,003732</b>	<b>0,002498</b>	<b>-0,00159</b>	<b>0,009057</b>
<b>CT</b>	<b>0,07</b>	<b>0,005426</b>	<b>12,901</b>	<b>0,000208</b>	<b>0,058433</b>	<b>0,081567</b>	<b>0,035</b>	<b>0,002713</b>	<b>0,029216</b>	<b>0,040784</b>

Após a remoção dos fatores não significativas, obteve-se a Equação 4, que descreve o modelo gerado a partir dos coeficientes de regressão significativos.

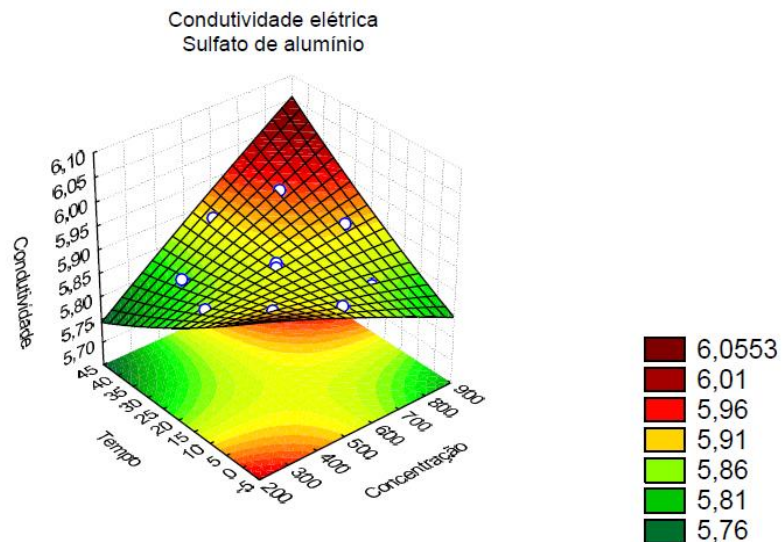
$$\text{C.E.} = 5,887 + 0,016361C + 0,004242T + 0,035CT \quad (4)$$

Pelo teste ANOVA (Tabela 15) confirma-se que os fatores CL, TL, e CT realmente produzem efeitos significativos na variável resposta condutividade elétrica, pois todos apresentam p-valor menor que o coeficiente de confiança de 10%.

**Tabela 15 – ANOVA para C.E. no tratamento com sulfato de alumínio**

Fator	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p-valor
<b>CL</b>	<b>0,002135</b>	<b>1</b>	<b>0,002135</b>	<b>72,522800</b>	<b>0,001043</b>
<b>CQ</b>	<b>0,000007</b>	<b>1</b>	<b>0,000007</b>	<b>0,232200</b>	<b>0,655109</b>
<b>TL</b>	<b>0,000145</b>	<b>1</b>	<b>0,000145</b>	<b>4,940600</b>	<b>0,090337</b>
<b>TQ</b>	<b>0,000066</b>	<b>1</b>	<b>0,000066</b>	<b>2,232900</b>	<b>0,209405</b>
<b>CT</b>	<b>0,004900</b>	<b>1</b>	<b>0,004900</b>	<b>166,435500</b>	<b>0,000208</b>
<b>Erro</b>	<b>0,000118</b>	<b>4</b>	<b>0,000029</b>		
<b>Total</b>	<b>0,007410</b>	<b>9</b>			

A Figura 8 apresenta a superfície resposta gerada para o modelo. Nela constata-se que a condutividade elétrica apresenta valores maiores nas regiões de baixa concentração e tempo de sedimentação, bem como, em regiões com características opostas.



**Figura 8 –Superfície resposta para o C.E. no tratamento com sulfato de alumínio**

### 5.2.3 Combinado

A partir da Tabela 11 observa-se que o tratamento provocou uma discreta alteração nos valores de condutividade elétrica em relação ao efluente bruto. Os valores variam de 5,88 a 6,15 mScm<sup>-1</sup>.

Por meio da tabela de efeitos estimados (Tabela 16) verifica-se que nenhum dos fatores apresentou valor inferior ao coeficiente de significância de 10% e, portanto, conclui-se que a condutividade elétrica não possui comportamentos distintos no que diz respeito às variáveis independentes.

**Tabela 16 – Tabela de efeitos estimados para C.E. no tratamento combinado**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	6,070295	0,057166	106,1868	0	5,948425	6,192164	6,070295	0,057166	5,948425	6,192164
<b>CL</b>	0,067175	0,057253	1,1733	0,305772	-0,05488	0,189229	0,033587	0,028626	-0,02744	0,094615
<b>CQ</b>	0,005883	0,076128	0,0773	0,942117	-0,15641	0,168177	0,002941	0,038064	-0,07821	0,084088
<b>TL</b>	-0,07283	0,056878	-1,2804	0,269603	-0,19408	0,048427	-0,036414	0,028439	-0,09704	0,024214
<b>TQ</b>	-0,0585	0,074432	-0,786	0,475811	-0,21718	0,100174	-0,029252	0,037216	-0,10859	0,050087
<b>CT</b>	-0,16	0,080847	-1,979	0,118932	-0,33235	0,012354	-0,08	0,040424	-0,16618	0,006177

### 5.3 Remoção da turbidez

Os resultados de remoção da turbidez obtidos para cada um dos coagulantes usados são apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 – Resultados para a variável remoção da turbidez.**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	<i>Moringa Oleífera</i>	Sulfato de alumínio	Combinação
1	373	6	-49,42	15,70	-42,44
2	550	20	-76,74	-19,77	-49,42
3	800	20	-103,49	24,42	-41,28
4	550	40	-68,02	3,49	-43,02
5	727	6	-48,84	-9,30	-71,51
6	550	0	-81,40	-33,14	-63,95
7	550	20	-73,26	-15,12	-50,58
8	373	34	-45,93	-11,63	-25,58
9	727	34	-48,26	15,70	-33,14
10	300	20	-33,14	-12,79	-31,98

#### 5.3.1 *Moringa oleífera*

O tratamento com *Moringa oleífera* não se mostrou eficiente na remoção da turbidez, proporcionando um aumento desse parâmetro em até 103,4% após a adição da solução coagulante de 800 mgL<sup>-1</sup> e com tempo de coleta de 20 minutos, como pode ser visto na Tabela 17.

Por se tratar de um coagulante natural, a *Moringa oleifera* pode contribuir para o aumento da carga orgânica presente no efluente, o que pode levar ao aumento de parâmetros como a cor e a turbidez (FRIGHETTO et al., 2007; OKUDA, 2001).

Esse resultado contrasta com o obtido por Stroher et al. (2012), Couto Junior et al. (2012) e Borborema et al. (2012), onde a *Moringa oleifera* apresentou resultados satisfatórios na redução da turbidez no tratamento de efluente têxtil. Entretanto, vale ressaltar que a literatura descreve o efluente têxtil com composição final altamente variável devido a gama diversificada de processos que podem ser aplicados durante o processo produtivo (ANDRADE, 2013).

Além disso, Dorea (2006) relata que a eficiência da remoção da turbidez é dependente de características como a fonte da água residuária, da técnica de preparação do efluente e também do tipo das sementes.

Quanto ao modelo estatístico, assumindo o nível de significância de 10%, verifica-se na tabela de efeitos estimados (Tabela 18) que nenhum dos fatores independentes apresentou p-valor inferior a 0,10 e, portanto, o modelo não foi representativo.

**Tabela 18 – Tabela de efeitos estimados para remoção da turbidez no tratamento com *Moringa oleifera***

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coef.	Coef. erro padrão	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-74,835	17,074	-4,38298	0,01185	-111,234	-38,4359	-74,835	17,074	-111,23	-38,436
<b>CL</b>	-25,3093	17,09988	-1,48009	0,21295	-61,764	11,145	-12,6547	8,54994	-30,882	5,5725
<b>CQ</b>	18,4741	22,73748	0,8125	0,4621	-29,999	66,947	9,2371	11,36874	-14,999	33,4735
<b>TL</b>	5,7347	16,98797	0,33757	0,75266	-30,481	41,9504	2,8673	8,49398	-15,241	20,9752
<b>TQ</b>	11,4297	22,23094	0,51413	0,63426	-35,963	58,8226	5,7148	11,11547	-17,982	29,4113
<b>CT</b>	-1,4535	24,14688	-0,06019	0,95489	-52,931	50,024	-0,7267	12,07344	-26,465	25,012

### 5.3.2 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio removeu, mas também aumentou a turbidez do efluente após o tratamento. Pela Tabela 17 verifica-se que a maior remoção da turbidez foi de 24,42% no ensaio com 800mg/L, o maior valor de concentração utilizado nos ensaios, e

com tempo de sedimentação de 20 minutos. Em contrapartida, aumentou em 33,4% a turbidez no ensaio que utilizou 550 mg/L de coagulante e sem tempo de sedimentação.

Por se tratar de um efluente com alta carga orgânica, os resultados apresentados sugerem que um aumento da concentração de coagulante, aliado a um maior tempo de sedimentação, poderiam levar a resultados mais satisfatórios.

Estatisticamente, pela Tabela 19, verifica-se que o modelo não foi significativo porque nenhum dos fatores apresentou p-valor menor que 0,10.

**Tabela 19 – Tabela de efeitos estimados para remoção da turbidez no tratamento com sulfato de alumínio**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-17,3919	9,94824	-1,74824	0,155335	-38,6	3,8162	-17,3919	9,948239	-38,6	3,8162
<b>CL</b>	13,7385	9,96332	1,37891	0,240009	-7,5017	34,97881	6,8693	4,981658	-3,7509	17,48941
<b>CQ</b>	26,9513	13,24809	2,03435	0,111658	-1,2916	55,19421	13,4757	6,624045	-0,6458	27,5971
<b>TL</b>	12,3737	9,89811	1,25011	0,279403	-8,7275	33,475	6,1869	4,949056	-4,3638	16,7375
<b>TQ</b>	5,9376	12,95295	0,4584	0,670465	-21,6761	33,55133	2,9688	6,476476	-10,838	16,77566
<b>CT</b>	26,1628	14,06928	1,85957	0,136469	-3,8308	56,15634	13,0814	7,034641	-1,9154	28,07817

### 5.3.3 Combinado

A combinação entre sulfato de alumínio e *Moringa oleífera* não ocasionou redução da turbidez do efluente bruto, ao contrário, causou um aumento de 25,58% a quase 72% nos ensaios com concentração de 373 mgL<sup>-1</sup> e 34 minutos, 727 mgL<sup>-1</sup> e tempo de coleta de 6 minutos, respectivamente, após o tratamento, como pode ser verificado na Tabela 17.

Para o modelo, tabela de efeitos estimados (Tabela 20), verifica-se que apenas os fatores concentração linear (CL), concentração quadrática (CQ) e tempo linear (TL) foram significativos, pois apresentaram p-valor inferior a 0,10.

Dessa forma, ajustando o modelo para esses três fatores obtém-se a Equação 5.

$$\text{Remoção da turbidez (\%)} = -51,4686 - 6,2366 \cdot \text{CL} + 7,7454 \cdot \text{CQ} + 10,5341 \cdot \text{TL} \quad (5)$$

**Tabela 20 – Tabela de efeitos estimados para remoção da turbidez no tratamento combinado**

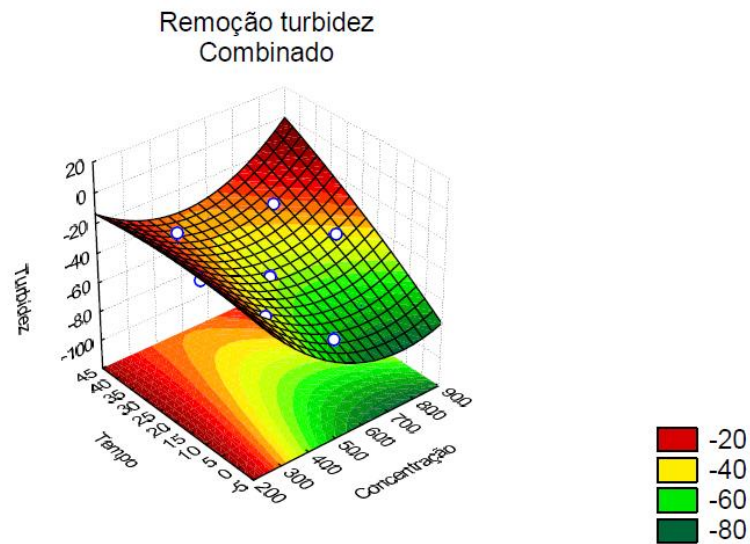
Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-49,9872	4,480923	-11,1556	0,000368	-59,5398	-40,4346	-49,987197	4,48092336	-59,5398	-40,4346
<b>CL</b>	-12,4732	4,487715	-2,7794	0,049849	-22,0403	-2,90604	-6,236578	2,24385751	-11,0201	-1,45302
<b>CQ</b>	14,3638	5,967255	2,407103	0,073786	1,642527	27,08507	7,1819002	2,98362751	0,821263	13,54254
<b>TL</b>	21,06824	4,458345	4,725574	0,009134	11,56373	30,57275	10,5341203	2,2291726	5,781866	15,28637
<b>TQ</b>	-2,55376	5,834318	-0,43771	0,684192	-14,9916	9,884114	-1,2768788	2,91715896	-7,49581	4,942057
<b>CT</b>	10,75581	6,337139	1,697266	0,164882	-2,754	24,26562	5,37790698	3,16856961	-1,377	12,13281

A significância do modelo foi avaliada por meio do teste ANOVA, mostrado na Tabela 21. Na tabela constata-se, o ao nível de significância de 10%, que o modelo consegue representar os dados observados, explicando-os em 84,45%.

**Tabela 21 – ANOVA para remoção da turbidez no tratamento combinado**

Fator	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p-valor
<b>CL</b>	310,233000	1	310,233500	7,725070	0,049849
<b>CQ</b>	232,689000	1	232,689100	5,794150	0,073786
<b>TL</b>	896,800000	1	896,800100	22,331050	0,009134
<b>TQ</b>	7,694000	1	7,694200	0,191590	0,684192
<b>CT</b>	115,688000	1	115,687500	2,880710	0,164882
<b>Erro</b>	160,637000	4	40,159300		
<b>Total</b>	1823,587000	9			

Apesar de não ter removido a turbidez do efluente, a superfície resposta gerada para esse modelo (Figura 9), indica que a eficiência de remoção de turbidez com a combinação de coagulante seria melhor com concentrações de coagulante por volta de 200 a 300 mgL<sup>-1</sup> e tempo de sedimentação variável ou com concentração na faixa de 800 a 900 mgL<sup>-1</sup> e tempo de sedimentação elevados de aproximadamente 45 minutos.



**Figura 9 –Superfície resposta para remoção de turbidez no tratamento combinado**

#### 5.4 Remoção da cor aparente

A Tabela 22 mostra as remoções de cor aparente promovidas por cada um dos três coagulantes usados.

**Tabela 22 – Resultados de remoção da cor aparente para os três tratamentos**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	<i>Moringa Oleífera</i>	Sulfato de alumínio	Combinação
1	373	6	-11,25	26,05	7,40
2	550	20	-28,62	0,96	-15,11
3	800	20	-63,34	29,26	-6,75
4	550	40	-23,47	17,04	-25,40
5	727	6	-4,82	-3,54	-0,32
6	550	0	-26,69	-9,97	-27,97
7	550	20	-19,61	36,98	2,89
8	373	34	-11,90	5,47	-0,32
9	727	34	-13,18	18,97	-21,54
10	300	20	-6,11	5,47	-4,18

#### 5.4.1 *Moringa oleifera*

Assim como para a turbidez, A *Moringa oleifera* proporcionou um aumento da cor aparente do efluente após o tratamento de 4,82% a 63,3%, nos ensaios com concentrações de 727 mgL<sup>-1</sup> e 800 mgL<sup>-1</sup> e tempos de coleta de 6 e 20 minutos, respectivamente, como apresentado na Tabela 5.

A ineficiência de remoção da cor aparente do efluente pode estar associada ao fato de que processos de coagulação/floculação/sedimentação são mais eficientes na remoção de material particulado (KUNS, 2002).

A partir da tabela de efeitos estimados (Tabela 23), verifica-se que nenhuma das variáveis independentes apresentou p-valor < 0,1, mesmo após a tentativa de ajuste, retirando os fatores que apresentavam valores menos significativos, levando a conclusão de que o modelo também não foi representativo para essa variável.

**Tabela 23 – Tabela de efeitos estimados para remoção da cor aparente no tratamento com *Moringa oleifera***

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coef.	Coef. erro padrão	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-23,9772	14,8692	-1,6125	0,1821	-55,6762	7,7217	-23,9772	14,8692	-55,6762	7,7217
<b>CL</b>	-18,9454	14,8918	-1,2722	0,2722	-50,6924	12,8016	-9,4727	7,4459	-25,3462	6,4008
<b>CQ</b>	-0,8093	19,8014	-0,0409	0,9694	-43,0228	41,4043	-0,4046	9,9007	-21,5114	20,7021
<b>TL</b>	-1,0913	14,7943	-0,0738	0,9447	-32,6305	30,4479	-0,5456	7,3972	-16,3153	15,2240
<b>TQ</b>	8,4133	19,3603	0,4346	0,6863	-32,8599	49,6864	4,2066	9,6801	-16,4299	24,8432
<b>CT</b>	-3,8585	21,0288	-0,1835	0,8633	-48,6887	40,9717	-1,9293	10,5144	-24,3443	20,4858

#### 5.4.2 Sulfato de alumínio

Assim como para a turbidez, o efluente tratado com sulfato de alumínio tanto removeu como aumentou a cor aparente do efluente após a aplicação do coagulante (Tabela 22).



O melhor resultado obtido foi de quase 37% de redução no ensaio com 550 mg/L de coagulante e 20 minutos de tempo de sedimentação, como pode ser visto na Tabela 22.

Estatisticamente, verifica-se pela tabela de efeitos estimados (Tabela 24) que nenhuma das variáveis independentes foi significativa para esse parâmetro, porque não apresentaram p-valor inferior a 0,1.

**Tabela 24 – Tabela de efeitos estimados para remoção da cor aparente no tratamento com sulfato de alumínio**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	18,9791	11,84810	1,60187	0,184443	-6,2793	44,23742	18,9791	11,84810	-6,2793	44,23742
<b>CL</b>	4,3812	11,86606	0,36922	0,730677	-20,9154	29,67783	2,1906	5,93303	-10,4577	14,83891
<b>CQ</b>	-1,0463	15,77815	-0,06631	0,950311	-34,6829	32,59029	-0,5232	7,88907	-17,3414	16,29515
<b>TL</b>	10,0263	11,78840	0,85052	0,442951	-15,1048	35,15738	5,0132	5,89420	-7,5524	17,57869
<b>TQ</b>	-14,5837	15,42664	-0,94536	0,398006	-47,4709	18,30356	-7,2918	7,71332	-23,7355	9,15178
<b>CT</b>	21,5434	16,75616	1,28570	0,267932	-14,1782	57,26498	10,7717	8,37808	-7,0891	28,63249

#### 5.4.3 Combinado

O tratamento usando a combinação de coagulantes proporcionou tanto aumento como redução na cor do efluente final. A melhor redução obtida foi de 7,40% com a concentração de 372,5 mg/L de solução coagulante e tempo de sedimentação de 6 minutos (Tabela 22).

Estatisticamente, verifica-se pelo na Tabela 25 que nenhum dos fatores independentes apresentou p-valor inferior a 0,1, indicando que o modelo não foi capaz de explicar os efeitos da variação do tempo e da concentração nos resultados obtidos nos ensaios.

**Tabela 25 – Tabela de efeitos estimados para remoção da cor aparente no tratamento combinado**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-6,0234	9,17764	-0,65632	0,547457	-25,5888	13,54187	-6,0235	9,17764	-25,5888	13,54187
<b>CL</b>	-8,1658	9,19155	-0,88840	0,424522	-27,7607	11,42920	-4,0829	4,59577	-13,8804	5,71460
<b>CQ</b>	6,7620	12,22188	0,55327	0,609547	-19,2932	32,81713	3,3810	6,11094	-9,6466	16,40856
<b>TL</b>	-6,2522	9,13139	-0,68470	0,531149	-25,7190	13,21450	-3,1261	4,56570	-12,8595	6,60725
<b>TQ</b>	-14,3662	11,94960	-1,20223	0,295576	-39,8409	11,10853	-7,1831	5,97480	-19,9205	5,55426
<b>CT</b>	-6,7524	12,97946	-0,52024	0,630364	-34,4226	20,91781	-3,3762	6,48973	-17,2113	10,45891

## 5.5 Remoção de sólidos totais

A Tabela 26 traz os resultados de remoção de sólidos totais para os três coagulantes empregados.

**Tabela 26 – Resultados de remoção de sólidos totais para os três tratamentos**

Ensaio	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	<i>Moringa Oleífera</i>	Sulfato de alumínio	Combinação
1	373	6	-17,02	7,20	-2,62
2	550	20	-19,48	1,96	-17,02
3	800	20	-28,81	-5,73	-7,86
4	550	40	-17,35	6,06	-21,93
5	727	6	-12,77	3,27	-12,77
6	550	0	-13,26	-1,31	-10,97
7	550	20	-19,48	-2,29	7,86
8	373	34	-13,75	-1,15	-11,13
9	727	34	-20,13	3,93	-16,69
10	300	20	-10,64	0,16	1,15

### 5.5.1 *Moringa oleifera*

Verifica-se pela Tabela 26 que houve aumento de sólidos totais de 10,64% a 28,81% após o tratamento, indicando que a *Moringa oleifera* não foi eficiente nesse quesito. Pode-se dizer que esse resultado era esperado, visto que, a *Moringa oleifera* elevou os parâmetros de cor aparente e turbidez do efluente.

Para o modelo, verificou-se que apenas a variável concentração linear (CL) foi significativa, apresentando p-valor menor que 0,1 (Tabela 27).

**Tabela 27 – Tabela de efeitos estimados para remoção de sólidos totais no tratamento com *Moringa oleifera***

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coef.	Coef. erro padrão	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
Média	-19,4647	3,069873	-6,34056	0,00317	-26,0092	-12,9202	-19,4647	3,069873	-26,009	-12,92
CL	-6,9565	3,074526	-2,26261	0,08643	-13,5109	-0,402	-3,4782	1,537263	-6,7554	-0,201
CQ	0,5761	4,088156	0,14091	0,89475	-8,1393	9,2914	0,288	2,044078	-4,0696	4,6457
TL	-2,4591	3,054404	-0,80511	0,46589	-8,9706	4,0524	-1,2296	1,527202	-4,4853	2,0262
TQ	4,8708	3,997081	1,21859	0,28996	-3,6504	13,3919	2,4354	1,99854	-1,8252	6,696
CT	-5,3191	4,341563	-1,22517	0,28772	-14,5747	3,9364	-2,6596	2,170781	-7,2873	1,9682

A equação que descreve o modelo por meio do coeficiente de regressão significativo é dada pela Equação 7.

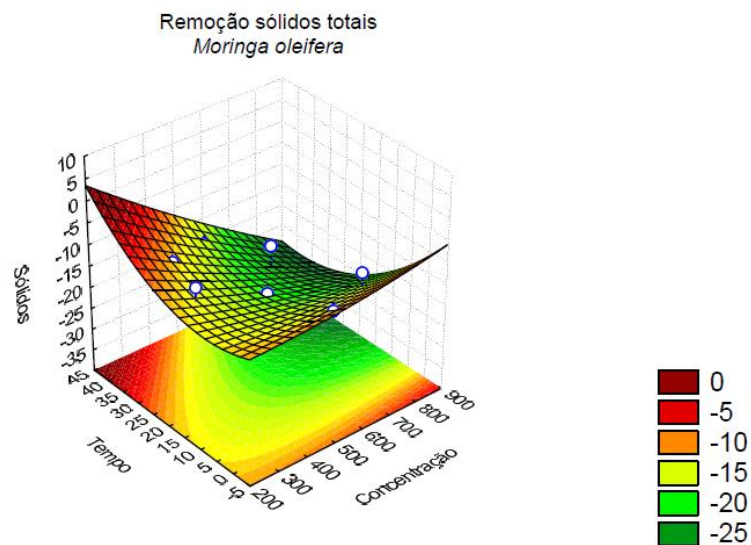
$$\text{Remoção de sólidos totais (\%)} = -19,4647 - 3,4782\text{CL} \quad (7)$$

A ANOVA, apresentada na Tabela 28, confirma a representatividade do modelo para essa variável.

**Tabela 28 – ANOVA para a remoção de sólidos totais no tratamento com *Moringa oleifera***

Fator	Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p-valor
CL	96,496600	1	96,496620	5,119410	0,086431
CQ	0,374300	1	0,374260	0,019856	0,894752
TL	12,218000	1	12,218000	0,648199	0,465890
TQ	27,990100	1	27,990090	1,484951	0,289955
CT	28,293300	1	28,293350	1,501039	0,287721
Erro	75,396700	4	18,849170		
Total	243,825000	9			

A superfície resposta da Figura 10 mostra que os melhores resultados se concentram em regiões de menor concentração e maior tempo de sedimentação.



**Figura 10 –Superfície resposta para remoção de sólidos totais no tratamento com *Moringa oleifera***

### 5.2.5 Sulfato de alumínio

Por meio da Tabela 26 constata-se que também houve decréscimo e acréscimo do valor de sólidos totais após o tratamento com sulfato de alumínio. O melhor valor de remoção obtido foi de 7,20% em relação ao efluente bruto no ensaio com  $373 \text{ mgL}^{-1}$  de coagulante e tempo de coleta de 6 minutos.

Na Tabela 29 observa-se que não houveram variáveis significativas, ou seja, com p-valor menor que 0,1. Nesse caso conclui-se que não há comportamento distinto no que diz respeito às variáveis independentes e que, portanto, não há representatividade do modelo.

**Tabela 29 – Tabela de efeitos estimados para remoção de sólidos totais no tratamento com Sulfato de alumínio**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-0,13861	3,290826	-0,04212	0,968423	-7,1541	6,87693	-0,138605	3,290826	-7,15414	6,87693
<b>CL</b>	-1,79585	3,295813	-0,54489	0,614787	-8,822	5,23032	-0,897925	1,647907	-4,41101	2,61516
<b>CQ</b>	-0,84981	4,382399	-0,19391	0,855693	-10,1924	8,49279	-0,424905	2,1912	-5,09621	4,246397
<b>TL</b>	0,70013	3,274244	0,213829	0,841138	-6,2801	7,68031	0,350064	1,637122	-3,14003	3,840157
<b>TQ</b>	4,17898	4,284769	0,975309	0,384633	-4,9555	13,31345	2,089488	2,142385	-2,47775	6,656723
<b>CT</b>	4,50082	4,654045	0,967077	0,388269	-5,4209	14,42253	2,250409	2,327023	-2,71045	7,211265

### 5.5.3 Combinado

A ação combinada dos dois coagulantes reduziu mas também aumentou a quantidade de sólidos totais no efluente após o tratamento. A melhor remoção alcançada foi de cerca 7,9% utilizando a concentração de  $550 \text{ mgL}^{-1}$  de coagulante e tempo de sedimentação de 20 minutos, como pode ser visto na Tabela 26.

Através da tabela de efeitos estimados (Tabela 30), constata-se que não é possível modelar o efeito das variáveis independentes – concentração e tempo de sedimentação – sobre a remoção de sólidos totais, porque nenhum desses fatores apresentou p-valor menor que o nível de significância de 10%.

**Tabela 30 – Tabela de efeitos estimados para remoção de sólidos totais no tratamento combinado**

Fator	Efeito	Erro padrão	t(4)	p-valor	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.	Coefficiente	Erro padrão coeficiente	-90% Limite Conf.	+90% Limite Conf.
<b>Média</b>	-4,5899	6,261791	-0,733	0,504202	-17,939	8,75931	-4,58987	6,261791	-17,939	8,75931
<b>CL</b>	-7,1223	6,271282	-1,13569	0,319516	-20,4917	6,24716	-3,56113	3,135641	-10,2458	3,12358
<b>CQ</b>	0,7211	8,33884	0,08648	0,935241	-17,056	18,49828	0,36057	4,16942	-8,528	9,24914
<b>TL</b>	-6,955	6,23024	-1,11633	0,326814	-20,2369	6,32693	-3,47749	3,11512	-10,1184	3,16347
<b>TQ</b>	-12,1158	8,15307	-1,48604	0,211459	-29,4969	5,2653	-6,0579	4,076535	-14,7484	2,63265
<b>CT</b>	2,2913	8,855729	0,25874	0,808605	-16,5877	21,17038	1,14566	4,427864	-8,2939	10,58519

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho do uso de sementes de *Moringa oleifera*, do sulfato de alumínio bem como da combinação entre esses dois coagulantes no tratamento de efluente da indústria têxtil.

Verificou-se nos experimentos que nenhum dos tratamentos aplicados apresentou de fato resultados satisfatórios na remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e sólidos totais.

O sulfato de alumínio foi o coagulante que de forma geral apresentou os melhores resultados, alcançando remoções de cor, turbidez e sólidos totais de 36,9%, 24,4%, e 7,2% respectivamente.

Já a *Moringa oleifera*, foi o coagulante que apresentou pior desempenho, aumentando em até 103,5% a turbidez e em 63,3% a cor do efluente após o tratamento. A alta carga orgânica, pode ter sido um dos fatores que contribuiu para a má performance desse coagulante.

Quanto aos parâmetros condutividade elétrica e pH constatou-se que nenhum dos coagulantes proporcionou bruscas alterações nos seus valores após o tratamento e o pH manteve-se dentro do padrão de lançamento estabelecido pela resolução CONAMA 430.

De modo geral, conclui-se que para esse tipo específico de efluente têxtil e condições de aplicação, o tratamento com físico-químico de coagulação/floculação/sedimentação utilizando como coagulantes a *Moringa oleifera*, bem como, o sulfato de alumínio, não se mostrou eficiente. Entretanto, por se tratar de um efluente bruto sem nenhum tipo de tratamento prévio, estima-se que há a necessidade de se realizar algum tratamento antes da aplicação do coagulante a fim de que haja a diminuição da carga orgânica e, no decorrer do processo, possa ser realizado o tratamento físico/químico.

## REFERÊNCIAS

ABIT. **Indústria Têxtil e de Confeção Brasileira**. Brasília, 2013. Disponível em:< [http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha\\_rtcc.pdf](http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf) >. Acesso em: 25 ago. 2015.

ANDRADE, de Flávio. **Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento De lodos ativados e um polieletrólito orgânico**. 106. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ANWAR, Farooq; LATIF, Sajid; ASHRAF, Muhammad; GILANI, Anwarul H. Moringa oleifera: a food plant with multiple medicinal uses. **Phytotherapy Research**, v. 21, n. 1, p. 17-25, jan. 2007.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: AWWA/WPCF, 2012.

BELTRAME, Leocádia Terezinha C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 161. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de tecnologia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BONGIOVANI, Milene C. et al. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 32, n. 2 p. 167-170, 2010.

BORBOREMA, Hita T. et al., Estudo da coagulação química do efluente da Indústria Têxtil tendo a Moringa como agente coagulante e a temperatura como variável. In: Encontro Nacional de Tecnologia Química, 5., 2012, Maceió.

BRAILE, Pedro Marcio; CAVALCANTI José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama (2005). Resolução n° 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em:<

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama (2011). Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 13 mai. 2011. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 30 ago. 2015.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 1 ed. São Paulo: J. E. Cavalcanti, 2009.

CETESB. Guia técnico ambiental da indústria têxtil – Série P + L. São Paulo, 2009. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao\\_limpa/documentos/textil.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/textil.pdf). Acesso em: 25 mar. 2015.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CEMA. 2009. **Resolução n° 70**. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESO\\_LUCOES/resolucao\\_cema\\_70\\_2009.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESO_LUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2015.

COSTA, Andréa Fernanda S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em efluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado do Pernambuco**. 87. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de processos ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

COSTA et al. Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação. In: Congresso Brasileiro de Química, 53, 2013, Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/5/3386-17002.html>>. Acesso em: 14 set. 2015.

COUTO JUNIOR, S. S. et al. Tratamento de efluente da indústria têxtil por coagulação e floculação utilizando coagulantes naturais. **Revista Ciências Exatas**. Taubaté. v. 18, n. 1, 2012. Disponível em: <<http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/view/1457/1023>>. Acesso em: 10 set. 2015.



DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima, 1566 p., 2005.

DAVIS, Mackenzie L. **Water and Wastewater Engineering: Desing principles and practice**. 1. ed. The McGraw-Hill Companies, 2010.

DOREA, C. C. Use of Moringa spp. seeds for coagulation: A review of a sustainable option. *Water Science and Technology*. **Water Supply**, 219-227 p., 2006

EMAN, Ali N. et al. Moringa oleifera Seeds As Natural Coagulant For Water Treatment. In: Thirteenth International Water Technology Conferenc, 2009, Hurghada.

FORTINO, Patricia. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processo de separação por membrana**. 84. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FRIGHETTO, R.T.S.; FRIGHETTO, N.; SCHNEIDER, R. P. E FERNANDES LIMA, P. C. The potential of Moringa oleifera (Moringaceae). I. The species as a source of natural coagulant for water treatment and nutritional component. **Revista Fitos**, v. 3, p. 78-88, 2007.

GALLÃO, Maria Izabel; Damasceno, Leandro F.; BRITO, Edy S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista de Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006. Disponível em: <[www.ccarevista.ufc.br](http://www.ccarevista.ufc.br)>. Acesso em: 10 set. 2015.

HENZE, M. et al. **Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes**. 3 ed. Berlin: Springer, 2002.

JOSHI, M. et al. Colour removal from textile effluents. **Indian Journal of Fibre and Textile Research**. v. 29, p. 239-259, jun. 2004. Disponível em: <<http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/24631/1/IJFTR%2029%282%29%20239-259.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

KUNS, Airton et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**. v. 25, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v25n1/10428.pdf>>.

Acesso em: 03 out. 2015.

LIMA, Maria N. **Aplicação de *Moringa oleifera* no tratamento de água com turbidez**. Dissertação – Programa de pós-graduação em desenvolvimento processos ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2005.

METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering treatment and reuse**. 4. ed. New York: McGraw - Hill Book, 2003.

MONACO, P. A. V. L. et al Utilização de Extrato de Sementes de Moringa como Agente Coagulante no Tratamento de Água para Abastecimento e Águas Residuárias. Revista Ambiente e Água. **Ambi-Agua**. Taubaté, v. 5, n.3, p. 222-231, 2010.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH K. S.; TALBOT B. G. Active agents and mechanism of coagulant of turbid waters using Moringa oleifera. **Water Research**. v. 29, n. 2, p. 703–710, 1995.

NUNES, José A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

OKUDA, Tetsuj et al. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in moringa oleifera seeds. **Water Research**, v.35, n.3, p. 830-834, 2001.

OLIVEIRA, Daniele S. et al. Obtenção do biodiesel através da transesterificação do óleo de *Moringa oleifera* Lam. **HOLOS**. v. 1, n. 28, 2012

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PEREIRA, Daiane F. **Potencialidades da Moringa Oleifera Lam na produção de biodiesel e no tratamento de água produzida na extração de petróleo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011.

RANGEL, Maria Salete A. *Moringa oleifera*: uma planta de uso múltiplo. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 1999. 41p.

SANTOS Taynara M. et al. Estudo do tratamento físico químico da água produzida utilizando Moringa oleifera Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Exacta**. v. 9, n. 3, p. 317-321, 2011. Disponível em:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81021140004>> Acesso em: 21 Set. 2015.

SBRT. Instituto Euvaldo Lodi - IEL. **Cultivo da Moringa Oleífera**: Dossiê Técnico. Bahia, 2013. 18p.

SILVA Fernando José et al. Descolorização de efluente de indústria têxtil utilizando coagulante natural (Moringa oleifera e quitosana).In: Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 21, 2008, João Pessoa.

STRÖHER Ana Paula et al. Caracterização e Otimização do Tratamento de Efluente Têxtil por Coagulação-Floculação, Utilizando Coagulante Natural Tanino. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 1, Jan/Jun 2012. Disponível em<<http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/1747>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

STRÖHER Ana Paula et al. Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. **Engevista**, v. 15, n. 3, p. 255-260, Dez 2013.

THEODORO, J.D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 184. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Química – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

VIEIRA A. M. S et al. Estudo do potencial da semente de *Moringa Oleífera* como Coagulante/floculante para o reuso de águas residuárias. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15., 2008, São Paulo. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23699/15771>>. Acesso em: 10 mai. 2015.