

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL**

AMANDA CRISTINA JACOB

**APLICAÇÃO DE COAGULANTES ORGÂNICOS EXTRAÍDOS DO
CACTO (*OPUNTIA COCHENILLIFERA*) E DA *MORINGA OLEIFERA*
NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

LONDRINA

2018

AMANDA CRISTINA JACOB

**APLICAÇÃO DE COAGULANTES ORGÂNICOS EXTRAÍDOS DO
CACTO (*OPUNTIA COCHENILLIFERA*) E DA *MORINGA OLEIFERA*
NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Câmpus Londrina,
como exigência parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Joseane Debora
Peruço Theodoro.

LONDRINA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO*

Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do *cacto* (*Opuntia cochenillifera*) e da *Moringa Oleifera* no tratamento de água

por

Amanda Cristina Jacob

Monografia apresentada em 19 de junho de 2018 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof^a. Dr^a. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

Prof^a. Me^a. Isabela Bruna De Tavares Machado Bolonhesi
(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR)
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

*A Folha de Aprovação assinada será encontrada na coordenação do curso após a defesa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me amparado em todos os momentos dessa graduação, me dando saúde e coragem para enfrentar cada desafio.

À UTFPR por ter me ensinado tanto durante todos esses anos de graduação e por ter disponibilizado todo o espaço e equipamentos para que este trabalho se concretizasse.

À Prof^a. Dr^a Joseane Debora Peruço Theodoro pela orientação deste trabalho, pela paciência e disposição em me ajudar em todos os momentos que precisei no desenvolvimento do mesmo.

À Prof^a. Dr^a Edilaine Regina Pereira e Isabela B. T. Machado Bolonhesi pelo apoio e conselhos para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À minha família, em especial meu pai, minha mãe, minhas primas Mayne e Giovanna, minha tia Lisangela e meu tio Thiago, que me deram todo suporte para que essa conquista fosse possível. Obrigada de coração.

Aos meus amigos, em especial Bruno, Nathalia, Fernanda, Ingrid, Larissa, Gabriela, Eliane que me incentivaram e me motivaram, não me deixando desistir nos meus momentos de fraqueza.

Ao meu namorado e amigo Taycir, que acompanhou de perto o desenvolvimento deste trabalho, me acalmando nas minhas crises e me trazendo alegria e paz para continuar.

Às alunas Johicy Parra e Caroline Takigushi pela ajuda nos experimentos necessários nessa pesquisa.

À minha superior no estágio Maria José Sartor, por todo o tempo disponibilizado nas horas de estágio, pelo incentivo e pela disponibilidade.

Por fim, agradeço a todos que me ajudaram diretamente e indiretamente nessa jornada.

Gratidão!

RESUMO

JACOB, A. C. **Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do (cacto *Opuntia cochenillifera*) e da *Moringa oleifera* no tratamento de água.** 2018. 85f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina.

A proposta deste trabalho foi utilizar coagulantes orgânicos (*Moringa oleifera* e *Opuntia cochenillifera*) nos processos de coagulação, floculação e sedimentação para o abastecimento de água. Foram coletadas amostras de água provenientes do Rio Tibagi, localizado no Norte do Paraná. Os dois coagulantes orgânicos foram usados tanto separadamente como em associação para comparar eficiências. Foi feito um estudo para determinar a remoção da turbidez e cor aparente, e o comportamento dos sólidos dissolvidos totais, da condutividade elétrica e do pH. Verificou-se após o pré ensaio, que as melhores concentrações para o coagulante extraído da semente da *Moringa oleifera* em solução salina foram C1: 2,5 mg.L⁻¹; C2: 5 mg.L⁻¹; C3: 7,5 mg.L⁻¹. Para o coagulante do cacto *Opuntia cochenillifera*, as melhores concentrações foram C4: 1 mg.L⁻¹; C5: 2 mg.L⁻¹; C6: 3 mg.L⁻¹ seguido das concentrações das soluções extratoras C7: 2,5 mg.L⁻¹; C8: 5 mg.L⁻¹; C9: 7,5 mg.L⁻¹. Para os ensaios feitos com a associação dos dois coagulantes, foram utilizados metade (50%) das dosagens dos coagulantes e da solução extratora. O tratamento foi feito com o equipamento jar teste com o mesmo gradiente de velocidade e tempos de mistura rápida e lenta utilizados na ETA da SANEPAR. Foi necessária correção do pH das amostras para analisar o desempenho dos coagulantes orgânicos em diferentes níveis de pH. Foram removidos até 100% da cor e 93% da turbidez utilizando a *Moringa oleifera*. Usando o cacto *Opuntia cochenillifera*, a remoção da cor e da turbidez foram de até 67% e 39%, respectivamente. Com os dois coagulantes associados, a remoção de cor e de turbidez foram de até 96%. Os maiores valores de condutividade elétrica foram apresentados nos ensaios com maior dosagem de coagulantes. Os sólidos dissolvidos totais aumentaram em todos os ensaios em decorrência da dissociação da matéria orgânica e sais advindos dos coagulantes orgânicos. O pH não alterou no decorrer dos processos usando a *Moringa oleifera* e os coagulantes em associação, mas para o cacto *Opuntia cochenillifera*, o pH de todos os ensaios aumentou durante os processos. Pela análise estatística, os melhores valores para cada variável isoladamente foi para C2 (5 mg.L⁻¹), pH neutro e 20 minutos de sedimentação usando a *Moringa oleifera* e C5 (2 mg.L⁻¹), C8 (5 mg.L⁻¹), pH neutro e 20 minutos de sedimentação utilizando o cacto *Opuntia cochenillifera*. Para a associação desses dois coagulantes, os melhores valores foram 2,5 mg.L⁻¹ de *Moringa oleifera*, 1 mg.L⁻¹ de *Opuntia cochenillifera* e 2,5 mg.L⁻¹ de solução extratora com pH neutro e com 20 minutos de sedimentação. Os resultados comprovam a eficiência da *Moringa oleifera* em solução salina e mostram que o cacto *Opuntia cochenillifera* possui grande potencial como coagulante necessitando mais estudos com diferentes dosagens de coagulante e diferentes soluções extratoras. Em relação à eficiência dos dois coagulantes juntos, conclui-se que não é viável a associação dos dois pois apenas a *Moringa oleifera* acaba realizando altas remoções de cor e turbidez.

Palavra-chave: *Moringa oleifera*; *Opuntia cochenillifera*; tratamento de água.

ABSTRACT

JACOB, A. C. **Application of organic coagulants extracted from (*Opuntia cochenillifera*) and *Moringa oleifera* in water treatment.** 2018. 85f. Graduate work (Environmental Engineering), Federal Technology University of Paraná. Londrina.

The purpose of this work was to use organic coagulants (*Moringa oleifera* and *Opuntia cochenillifera*) in coagulation, flocculation and sedimentation processes for water supply. Water samples were collected from Tibagi River, located in the North of Paraná. Both organic coagulants were used separately and in combination to compare efficiencies. A study was carried out to determine the removal of turbidity and apparent color, and the behavior of total dissolved solids, electrical conductivity and pH. It was verified after the pre-test that the best concentrations for the coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed in saline solution were C1: 2.5 mg.L⁻¹; C2: 5 mg.L⁻¹; C3: 7.5 mg.L⁻¹. For the coagulant of the cactus *Opuntia cochenillifera*, the best concentrations were C4: 1 mg.L⁻¹; C5: 2 mg.L⁻¹; C6: mg.L⁻¹ followed by the concentrations of extractive solutions C7: 2.5 mg.L⁻¹; C8: 5 mg.L⁻¹; C9: 7.5 mg.L⁻¹. For the assays made with the combination of both coagulants, half (50%) of the dosages of the coagulants and the extractive solution were used. The treatment was done with the jar test equipment with the same speed gradient and fast and slow mixing times used in the SANEPAR ETA. Correction of pH of the samples was required to analyze the performance of organic coagulants at different pH levels. Up to 100% of the color and 93% of the turbidity were removed using *Moringa oleifera*. Using the *Opuntia cochenillifera* cactus, the color and turbidity removal were up to 67% and 39%, respectively. With the two coagulants associated, the color and turbidity removal were up to 96%. The highest values of electrical conductivity were presented in the assays with higher dosage of coagulants. Total dissolved solids increased in all assays due to the dissociation of organic matter and salts from the organic coagulants. The pH did not change in the course of the processes using *Moringa oleifera* and coagulants in association, but for *Opuntia cochenillifera* cactus, the pH of all assays increased during the processes. According to statistical analysis, the best values for each single variable were for C2 (5 mg.L⁻¹), neutral pH and 20 minutes of sedimentation using *Moringa oleifera* and C5 (2 mg.L⁻¹), C8 (5 mg.L⁻¹), neutral pH and 20 minutes of sedimentation using *Opuntia cochenillifera* cactus. For the association of these two coagulants, the best values were 2.5 mg.L⁻¹ of *Moringa oleifera*, 1 mg.L⁻¹ of *Opuntia cochenillifera* and 2.5 mg.L⁻¹ of extractive solution with neutral pH and 20 minutes of sedimentation. The results confirm the efficiency of *Moringa oleifera* in saline solution and show that *Opuntia cochenillifera* cactus has great potential as a coagulant but require further studies with different dosages of coagulant and different extractive solutions. In relation to the efficiency of the two coagulants together, it is concluded that the association of the two is not viable since only *Moringa oleifera* ends up performing high removals of color and turbidity.

Key words: *Moringa oleifera*; *Opuntia cochenillifera*; water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sólidos totais e seus componentes.....	20
Figura 2: Tipos de tratamentos de água convencionais.....	22
Figura 3: Árvore da Moringa oleifera.....	28
Figura 4: Mecanismo esquemático da extração em solução salina NaCl da Moringa oleifera.....	29
Figura 5: Cacto Opuntia cochenillifera.....	30
Figura 6: Vista por satélite do Rio Tibagi - Google Earth.....	32
Figura 7: Laboratório de Saneamento e Laboratório de Poluentes Atmosféricos, localizados na UTFPR Londrina.....	34
Figura 8: a) Amostra do cacto Opuntia cochenillifera. b) Preparando o cacto para mucilagem. c) Liquidificação do cacto. d) Solução pronta para a extração da mucilagem.....	36
Figura 9: Amostra da solução extratora pronta.....	37
Figura 10: a) Semente da Moringa oleifera. b) Semente da Moringa oleifera descascada. c) Liquidificação da Moringa oleifera com a solução de NaCl 1M....	38
Figura 11: Equipamento utilizado para a determinação de Sólidos Dissolvidos Totais.....	41
Figura 12: COAGULANTE A - NEUTRO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. c) Amostras com 20 minutos de sedimentação. d) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	61
Figura 13: COAGULANTE - BÁSICO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste com 30 minutos de sedimentação.....	62
Figura 14: COAGULANTE A - ÁCIDO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. c) Amostras com 20 minutos de sedimentação. d) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	63
Figura 15: COAGULANTE B - NEUTRO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. c) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	64
Figura 16: COAGULANTE B - BÁSICO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste com 30 minutos de sedimentação.....	65

Figura 17: COAGULANTE B - ÁCIDO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. c) Amostras com 20 minutos de sedimentação. d) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	66
Figura 18: COAGULANTE C- NEUTRO: a) Água bruta (antes do jar teste). b) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. c) Amostras com 20 minutos de sedimentação. d) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	67
Figura 19: COAGULANTE C - BÁSICO: a) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. b) Amostras com 20 minutos de sedimentação. c) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	68
Figura 20: COAGULANTE C - ÁCIDO: a) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. b) Amostras com 20 minutos de sedimentação. c) Amostras com 30 minutos de sedimentação.....	69
Figura 21: Teste de significância (Wilks) para o coagulante A após a coagulação/floculação/sedimentação.....	70
Figura 22: Gráficos de superfície de resposta para o coagulante A após coagulação/floculação/sedimentação utilizando o Método Quadratic Fit.	71
Figura 23: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o coagulante A após coagulação/floculação/sedimentação.....	72
Figura 24: Teste de significância (Wilks) para o coagulante B após a coagulação/floculação/sedimentação.....	73
Figura 25: Gráficos de superfície de resposta para o coagulante B após a coagulação/floculação/sedimentação utilizando o Método Quadratic Fit.	74
Figura 26: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o coagulante B após coagulação/floculação/sedimentação.....	75
Figura 27: Teste de significância (Wilks) para o coagulante C após a coagulação/floculação/sedimentação.....	76
Figura 28: Gráficos de superfície de resposta para o coagulante C após coagulação/floculação/sedimentação.....	76
Figura 29: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o coagulante C após coagulação/floculação/sedimentação.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Remoção da cor aparente para o coagulante A.	44
Gráfico 2: Remoção da cor aparente para o coagulante B.	44
Gráfico 3: Remoção da cor aparente para o coagulante C.	45
Gráfico 4: Comportamento dos sólidos dissolvidos totais para o coagulante A. ..	47
Gráfico 5: Comportamento dos sólidos dissolvidos totais para o coagulante B. ..	48
Gráfico 6: Comportamento dos sólidos dissolvidos totais para o coagulante C. ..	48
Gráfico 7: Remoção da turbidez para o coagulante A.	50
Gráfico 8: Remoção da turbidez para o coagulante B.	51
Gráfico 9: Remoção da turbidez para o coagulante C.	51
Gráfico 10: Comportamento do pH para o coagulante A.	53
Gráfico 11: Comportamento do pH para o coagulante B.	54
Gráfico 12: Comportamento do pH para o coagulante C.	54
Gráfico 13: Comportamento da condutividade elétrica para o coagulante A.	56
Gráfico 14: Comportamento da condutividade elétrica para o coagulante B.	56
Gráfico 15: Comportamento da condutividade elétrica para o coagulante C.	57
Gráfico 16: Relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica para o coagulante A.	59
Gráfico 17: Relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica para o coagulante B.	59
Gráfico 18: Relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica para o coagulante C.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores das soluções utilizadas nos ensaios.....	39
Tabela 2: Gradiente de concentração das hastes misturadoras e tempo de ação.	40
Tabela 3: Equipamentos e metodologia utilizados para medição dos parâmetros.	40
Tabela 4: Correlação entre os coagulantes e seus respectivos códigos.	42
Tabela 5: Planejamento fatorial dos coagulantes e pH.....	42
Tabela 6: Parâmetros da água bruta.	43

LISTA DE SIGLAS, SIMBOLOS E ABREVIATURAS

A	Solução salina <i>Moringa oleifera</i> (M)
APHA	American Public Health Association
B	Cacto diluído + Solução extratora (CD+S)
C	50% Solução Salina <i>Moringa oleifera</i> + 50% Cacto diluído + 50% Solução extratora (M/2 + CD/2 + S/2)
cm	Centímetros
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
E	Eficiência da remoção do parâmetro (%)
ETA	Estação de Tratamento de Água
g	Gramas
h	Horas
HCl	Ácido clorídrico
L	Litros
M	Molar
mg	Miligramas
mg.L ⁻¹	miligramas por litro
mL	Mililitros
mS.cm ⁻¹	mili Siemens por centímetro
NaCl	Cloreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogênico
PR	Paraná
ppm	partes por milhão
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
s ⁻¹	Gradiente de velocidade
TDS	Sólidos dissolvidos totais
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

uH

unidade Hazen

UTFPR

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 ÁGUA: IMPORTÂNCIA E PROBLEMÁTICA	18
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA	19
3.2.1 Cor Aparente	19
3.2.2 Turbidez	19
3.2.3 pH	19
3.2.4 Sólidos Dissolvidos Totais	20
3.2.5 Condutividade Elétrica	21
3.3 TRATAMENTO DE ÁGUA	21
3.3.1 Coagulação	22
3.3.2 Floculação	24
3.3.3 Sedimentação	24
3.4 CORPOS LÓTICOS	25
3.5 COAGULANTES ORGÂNICOS	27
3.5.1 <i>Moringa oleifera</i>	27
3.5.2 <i>Cacto Opuntia cochenillifera</i>	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.2 AMOSTRAGEM	33
4.3 COLETA DO <i>Cacto Opuntia cochenillifera</i> e <i>Moringa oleifera</i>	33
4.4 LOCAL DO EXPERIMENTO	33
4.5 FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS	34
4.6 SOLUÇÕES COAGULANTES	36
4.6.1 Preparação Das Soluções Do Coagulante Natural <i>Opuntia cochenillifera</i> e Extração da Mucilagem	36
4.6.2 Preparação Da Soluções De <i>Moringa oleifera</i>	37
4.7 AJUSTE DO pH	38
4.8 PRÉ-ENSAIO	39
4.9 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO	39

4.10 ANÁLISE DOS PARÂMETROS	40
4.10.1 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	41
4.11 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS	43
5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA	43
5.2.1 Remoção da Cor Aparente.....	43
5.2.2 Comportamento dos Sólidos Dissolvidos Totais	47
5.2.3 Remoção da Turbidez	50
5.2.4 Comportamento do pH	53
5.2.5 Comportamento da Condutividade Elétrica.....	55
5.2.6. Relação entre os Sólidos Dissolvidos Totais e a Condutividade Elétrica	58
5.3 ANÁLISE VISUAL DOS ENSAIOS.....	60
5.3.1 Coagulante A.....	60
5.3.2 Coagulante B.....	63
5.3.3 Coagulante C	66
5.4 ANÁLISE DO PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO.....	69
5.4.1 Coagulante A.....	70
5.4.2 Coagulante B.....	73
5.4.3 Coagulante C	75
6. CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1. INTRODUÇÃO

A água é de suma importância para o planeta Terra, sendo usada tanto para atividades humanas como para o funcionamento dos ecossistemas, da biota e para a continuidade do ciclo hídrico (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003).

Com a revolução industrial e o aumento da população mundial, ocorreu a necessidade em tratar a água para alcançar uma potabilidade adequada para suprir às necessidades humanas. Assim, é necessário o estudo de novas tecnologias para aperfeiçoar o tratamento da água e suprir a demanda populacional que cresce cada vez mais (REBOUÇAS, 2001).

De acordo com o relatório da *The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) realizado em 2015, estima-se que 748 milhões de pessoas não tenham disponibilidade à água potável e caso não se tome nenhuma providência em relação à má distribuição deste recurso, é previsto que em 2030, 40% da população mundial não tenha acesso à água potável.

Para que seja classificada como potável e própria para consumo humano, é necessário que siga uma legislação vigente que varia de acordo com o país e região. No Brasil, existe a Portaria nº 05/2017 do Ministério da Saúde (anexo XX) na qual se estabelece padrões químicos, físicos e biológicos. Para que se alcancem tais padrões, é necessário o uso de variadas tecnologias na Estação de Tratamento de Água (ETA) incluindo o uso de coagulantes para atingir a remoção da cor e turbidez desejada.

Com o intuito de gerar um menor impacto ambiental e a geração de um lodo menos danoso ao meio ambiente e em menor quantidade, estuda-se o uso de coagulantes orgânicos de origem vegetal. No Brasil, usa-se mais o coagulante inorgânico sulfato de alumínio e isto gera um problema de descarte, pois o alumínio e outros metais pesados que se encontra nesse lodo muitas vezes é descartado incorretamente, poluindo o solo e corpos d'água (CORAL; BERGAMASCO; BARSSETI, 2009). A alternativa do coagulante orgânico minimiza esses problemas de descarte, evitando problemas de saúde e minimizando o impacto negativo ao meio ambiente.

Atualmente, existem diversas opções de coagulantes orgânicos e químicos, sendo estudado neste trabalho dois orgânicos, o polímero advindo do cacto *Opuntia cochenillifera* e a semente da *Moringa oleifera*, ambos de origem vegetal.

Os cactos das espécies *Opuntia cochenillifera* são espécies usadas para fins medicinais e atualmente vêm sendo estudado como coagulante no tratamento de água (OLADOJA, 2015).

As sementes da *Moringa oleifera* que são usadas como coagulante possuem um custeio menor no tratamento se comparado ao coagulante inorgânico e altas eficiências de remoção de cor e turbidez. Essas sementes neutralizam as partículas coloidais, criando ligações entre essas partículas e conseqüentemente formando partículas maiores que são sedimentadas com a ação da gravidade (NKURUNZIZA et al. 2009).

Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uso das etapas de tratamento coagulação/floculação/sedimentação usando os coagulantes orgânicos *Opuntia cochenillifera* e *Moringa oleifera* em água oriunda do sistema lótico do Rio Tibagi.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o comportamento e a eficácia da *Moringa oleifera* e do cacto *Opuntia cochenillifera* como coagulantes, separadamente e também associados, para as etapas de coagulação/floculação/sedimentação do tratamento de água, utilizando água originária do Rio Tibagi, localizado no município de Jataizinho-PR.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos cor aparente e turbidez para a água do Rio Tibagi;
- Comparar a eficiência dos coagulantes separadamente e em associação, de acordo com a análise dos parâmetros físico-químicos estabelecidos;
- Acompanhar a variação de pH, sólidos dissolvidos totais (STD), condutividade elétrica durante o tratamento;
- Determinar quais ensaios manifestam-se com desempenho satisfatório, por meio do teste de significância de Wilks e o método Quadratic Fit no software *Statística*, usando diferentes concentrações de coagulantes e níveis de pH.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ÁGUA: IMPORTÂNCIA E PROBLEMÁTICA

A água ocupa 70% da crosta terrestre e é de importância fundamental para preservação da vida. A água é uma substância primordial para que todas ações metabólicas tanto direta como indiretamente aconteçam. São nessas circunstâncias que a manutenção da qualidade da água se torna substancial para sua utilização subsequente nas centenas atividades antrópicas (SOUZA et al., 2014).

De acordo com Moraes e Jordão (2002), o meio aquático é usado para diversos fins como abastecimento doméstico e industrial, em áreas de lazer como parques, bebedouro para animais, ecossistema para fauna e flora, geração de energia, irrigação, criação de animais e vegetais para fins comerciais, entre outros.

Com o crescimento da população, a necessidade de tratamento de água aumenta, para suprir toda a demanda humana. De acordo com Von Sperling (2005), o consumo per capita de água é de 150 a 300 L.hab⁻¹.dia⁻¹ em uma cidade com uma média populacional de 250 mil habitantes no Brasil.

De acordo com o *Water Development Report*, um relatório realizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2012, aborda um aumento populacional significativo até 2050, que terá consequência drásticas na forma que a água será utilizada, a fim de evitar dificuldades e confrontos entre diversos países do mundo (ONU, 2012).

Segundo AMIN (2015, parágrafo 42):

Essa queda de disponibilidade é causada, principalmente, pelo fato de os recursos hídricos serem um dos motores do desenvolvimento econômico de quase todos os países, sobretudo nos setores da agricultura e da indústria. Dessa forma, o que desequilibra a relação entre oferta de água na natureza e a demanda mundial é o aumento do consumo, visto que, de toda a água doce disponível, 70% dela é destinada à agricultura, 22% vai para a indústria e apenas 8% é destinada ao uso individual (clubes, residências, hospitais, escritórios e outros).

3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA

Para determinar a qualidade da água, é preciso estudar alguns parâmetros que definem suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são estudados e manipulados sempre em laboratórios que trabalham com a qualidade da água definidos em legislação (VON SPERLING, 2005).

3.2.1 Cor Aparente

De acordo com Von Sperling (2005), cor aparente na água significa presença de sólidos dissolvidos. Esses sólidos dissolvidos podem ter origem tanto natural quanto antropogênica. Quando de origem natural, se baseia na presença de decomposição da matéria orgânica como também pela presença dos sais de ferro e manganês. Quando de origem antropogênica, a cor tem proveniência de resíduos industriais e/ou esgotos domésticos.

A unidade usada para medir a cor da água, é uC (unidades de cor). Valores acima de 25 uC necessitam de coagulação química (VON SPERLING, 2005).

3.2.2 Turbidez

De acordo com Heller e Pádua (2006), a turbidez equivale ao nível de intervenção da passagem de luz pela água. Como consequência, a água fica com uma imagem turva. Essa turbidez pode derivar de partículas de silte, rochas e argila e também pode ter origem biológica como excesso de algas e microrganismos em rios e lagos. Quando a turbidez tem origem antropogênica, pode ser derivado de erosão, derramamento industrial e doméstico.

A unidade usada para medir a turbidez da água é uT (unidades de turbidez). Valores acima de 50 uT carecem de coagulação química e uma etapa a mais de filtração (HELLER E PÁDUA, 2006).

3.2.3 pH

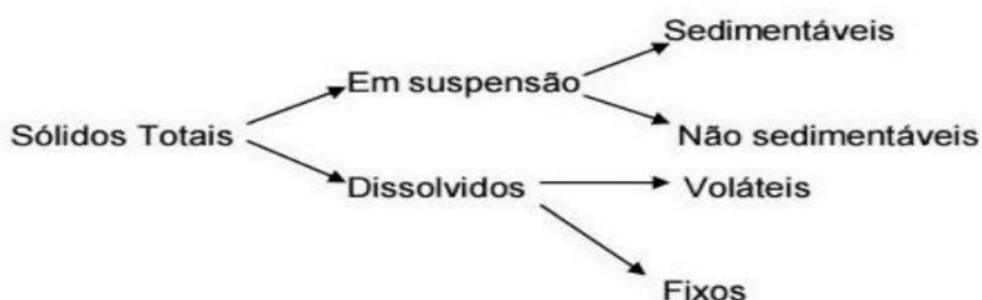
De acordo com Peixoto (2007), a faixa que varia o pH (potencial hidrogeniônico) é de 0 a 14. Sendo 0 mais ácido, 14 mais básico e 7 é neutro. O pH é a concentração de íons de hidrogênio que uma determinada substância possui.

O pH é utilizado para diversos parâmetros e um deles é para o manejo da execução de ETAs, para coagulação e possíveis incrustações nas tubulações de abastecimento. Distintos valores de pH estão relacionados a diferentes faixas de comportamento ideal para coagulantes (VON SPERLING, 2005).

3.2.4 Sólidos Dissolvidos Totais

Sólidos dissolvidos totais é um parâmetro usado para mensurar a “[...] fração de sólidos orgânicos e inorgânicos que não são retidos nos filtros de papel”, ou seja, não são sólidos em suspensão (VON SPERLING, 2005, p. 86). São caracterizados também como sólidos coloidais e tem ligação direta com a cor aparente. Os sólidos dissolvidos totais podem ser classificados pelas suas características químicas – voláteis ou fixos (VON SPERLING, 2005). A Figura 1 mostra as classificações e divisões de todos os sólidos:

Figura 1: Sólidos totais e seus componentes.



Fonte: Almeida, 2013.

Os voláteis são “[...] componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos” e os fixos “[...] são componentes minerais dos sólidos dissolvidos” (VON SPERLING, 2005, p. 86).

De acordo com Almeida (2013), grande presença de sólidos na água pode ser advinda de erosão e carreamento de matéria orgânica pela precipitação intensa ou então por interferência do homem como lançamentos de efluentes e resíduos sólidos no corpo hídrico.

3.2.5 Condutividade Elétrica

De acordo com o Ministério da Saúde (2006), condutividade elétrica é a capacidade de transportar corrente elétrica em um meio material. A água possui essa capacidade graças à existência de materiais dissolvidos que se ionizam no meio aquoso. Quanto maior a quantidade de íons na água, maior a capacidade de conduzir corrente elétrica pois aumenta a ação eletrolítica.

A condutividade elétrica é expressa pela unidade $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ou $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ e é muito usada em monitoramentos como parâmetro de materiais dissolvidos na água como a matéria orgânica, sendo uma medição rápida e simples. Em águas poluídas, a condutividade chega em até $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (ANA, 2011).

3.3 TRATAMENTO DE ÁGUA

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a falta de saneamento em algumas regiões dos países em desenvolvimento, como a escassez de água potável e água de boa qualidade, é responsável pelo alastramento de 80% das doenças como viroses, diarreias, cólera entre outras (RICHTER, 2001).

O tratamento de água tem como finalidade minimizar as impurezas e corrigir alguns parâmetros para tornar a água potável. Esses parâmetros são físicos, químicos e biológicos e influenciam tanto na estética (turbidez, odor, sabor e cor) da água quanto na higiene (retirada de bactérias, vírus, substâncias e microrganismos indesejáveis) para melhor atender a comunidade (VANACOR, 2005).

Segundo o Ministério da Saúde, PRC Portaria nº 05/2017, o padrão de potabilidade deve ser respeitado e as ETAs que são incumbidos em seguir os padrões impostos pela norma para que não apresente ameaças à saúde humana.

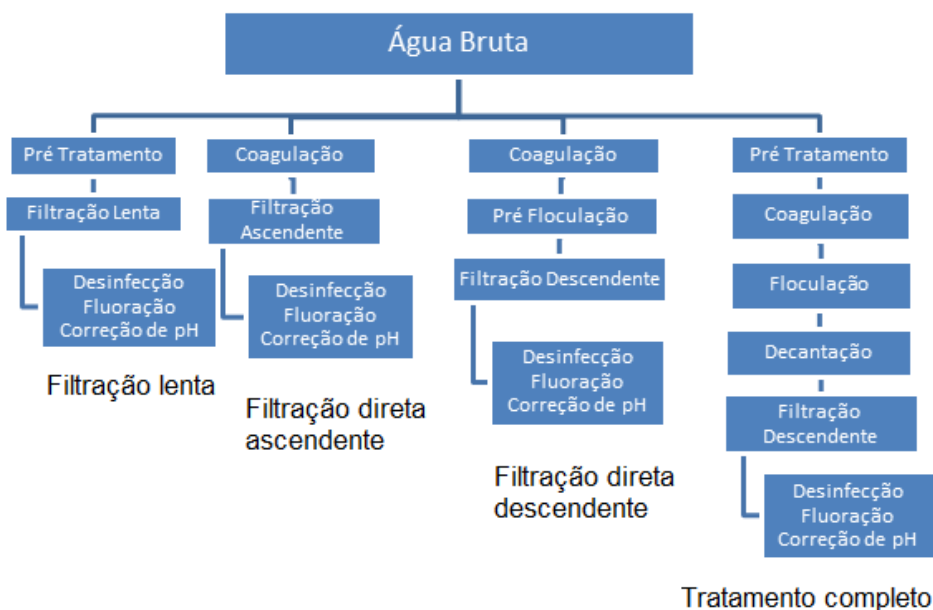
A qualidade da água do manancial será crucial para a escolha do tipo de tratamento que essa água irá receber. Águas subterrâneas possuem menor probabilidade de contaminação então possuem maior recomendação para captação e muitas vezes não precisam de tratamento completo, já que as águas advindas de sistema lóxico podem possuir fontes difusas de contaminação tanto naturais quanto de ação antrópica (CLAUDINO, 2009).

Segundo Botero (2008), devem ser considerados 6 critérios antes de decidir qual será o método a ser aplicado no tratamento de água, sendo eles:

Características da água bruta, despesas na manutenção e operação, manuseio e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, posição geográfica e características da comunidade e a disposição final do lodo.

De acordo com Di Bernardo (1995), existem 5 processos de tratamentos de água mais usados, como visto na Figura 2.

Figura 2: Tipos de tratamentos de água convencionais.



Fonte: Adaptado de Di Bernardo, 1995.

3.3.1 Coagulação

A água pode abrigar diversas impurezas incluindo elementos húmicos, impurezas, organismos e elementos coloidais. Esses elementos são carregados com carga negativa no qual os interditam de se juntar e formar elementos maiores. Para a remoção desses elementos da água, é necessário modificar várias propriedades da água e das impurezas. Essas modificações se dão por meio da coagulação, floculação, sedimentação e filtração (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A coagulação acontece em poucos segundos e é definida pela desestabilização da carga das partículas coloidais suspensas, incluindo bactérias, vírus, protozoários, por meio de reações químicas, feito por um determinado coagulante (KAWAMURA, 2000).

De acordo com Libânio (2010), existem quatro mecanismos que ocorrem durante a coagulação sendo eles: compressão da dupla camada, adsorção-desestabilização, varredura e formação de pontes químicas. Esses mecanismos podem ser empregados individualmente ou coletivamente.

- Compressão da dupla camada: O agrupamento dos íons de carga contrária aos íons das partículas resulta no aumento da concentração de cargas positivas e excesso de íons na dupla camada, fazendo com que estas atravessem a camada compacta e diminua a espessura da dupla camada por meio da redução da magnitude do potencial beta. Possibilitando assim as partículas se aproximarem (LIBÂNIO, 2010).
- Adsorção-desestabilização: Esse mecanismo ocorre assim que o coagulante se espalha na massa líquida, ocorrendo interações entre coagulante-coloide, coloide-solvente e coagulante-solvente (PAVANELLI, 2001). Pode acontecer a constituição de espécies hidrolisadas positivas, que são adsorvidas pelas partículas, gerando a desestabilização das mesmas. Este mecanismo é crucial quando o tratamento utiliza a filtração direta, pois o meio filtrante retém as partículas desestabilizadas (LIBÂNIO, 2010).
- Varredura: Esse mecanismo está sendo muito usado nos tratamentos de água tipo completo pois os flocos gerados são maiores do que os flocos formados na adsorção-desestabilização, tendo uma velocidade maior de sedimentação (PAVANELLI, 2011).
- Formação de pontes químicas: Polímeros de cadeias extensas são usados como pontes para que a coagulação ocorra. Essas pontes ligam as partículas com o meio que os polímeros estão aderidos. Nesse mecanismo as dosagens de coagulantes são reduzidas por conta do uso dos polímeros (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Os coagulantes inorgânicos mais usados são sais de ferro e alumínio. A coagulação é feita com mistura rápida na estação de tratamento de água e consiste em um processo químico e outro físico no qual ambos demoram milésimos de segundos para acontecer. O processo químico depende do pH e da concentração do coagulante e é feito pela reação da água com o coagulante, transformando os

elementos eletronegativos em eletropositivos. O processo físico consiste na formação de flocos dessas impurezas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Entre os coagulantes naturais mais estudados podem-se citar a *Moringa oleifera*, a quitosana, o tanino, e os cactos *Cereus Mandacaru* e *Opuntia cochenillifera*.

Os coagulantes influenciam diretamente nas características do lodo gerado nos decantadores bem como na eficiência de remoção da cor e turbidez. A escolha do coagulante (VANACOR, 2005).

3.3.2 Floculação

A floculação acontece quando as partículas desestabilizadas pela coagulação, chocam-se uma com as outras para formar coágulos maiores. Esse agrupamento das partículas acontece com a formação de pontes entre elas, formando assim uma malha tridimensional de coágulos porosos (VANACOR, 2005).

A floculação divide-se em dois mecanismos, a floculação ortocinética e floculação pericinetica. A floculação ortocinética é quando o movimento das partículas é feito por uma energia externa que causa a aglutinação das partículas desestabilizadas e dos microflocos. Essa força externa pode ser feita por floculação mecânica utilizando agitadores mecanizados ou por floculação hidráulica que utiliza o gradiente de velocidade produzido pelo movimento da água. Este mecanismo é o único em que um profissional pode otimizar a operação. A floculação pericinetica ocorre pelo movimento Browniano. Esse movimento possibilita que as partículas desestabilizadas se colidam formando flocos maiores. O movimento Browniano depende da ação da gravidade e da energia térmica do fluido (LIBÂNIO, 2010).

Para a coagulação é necessária uma unidade de mistura rápida, já para a floculação são necessárias várias etapas de mistura lentas com gradientes de velocidade diferentes para evitar a quebra dos coágulos formados (DEZOTTI, 2008).

3.3.3 Sedimentação

A sedimentação, também conhecida como clarificação, e é definida pela separação dos materiais em suspensão que após a floculação, sendo mais densas

que a água, acabam sedimentando no fundo dos tanques pela ação da gravidade e se separando da água, clarificando o meio líquido. O lodo também é formado nessa etapa, sendo depositado juntamente com os flocos no fundo do sedimentador/decantador (RIBEIRO, 2007).

Esse processo maximiza o processo unitário a jusante, como a filtração. A sedimentação sem uso dos coagulantes só retira partículas acima de 10 microns, não sendo capaz de retirar a cor aparente da água causada por partículas menores (MACEDO, 2005).

A velocidade de sedimentação depende das características físico/químicas da água e da eficiência da coagulação/floculação (MACEDO, 2005).

Segundo Carvalho (2008), as partículas que não forem removidas nem com a sedimentação com o uso de coagulantes por causa da sua densidade, serão removidas posteriormente na filtração.

3.4 CORPOS LÓTICOS

As águas doces possuem três tipos de ecossistemas diferentes. Os ecossistemas lênticos, ecossistemas lóticos (águas correntes) e ecossistemas híbridos. Os ecossistemas lóticos são caracterizados por ter um ambiente com grande fluxo hídrico como rios, riachos e arroios. As trocas entre terra e água são acentuadas, formando um ambiente que favorece organismos heterotróficos, dificilmente tendo formações de estratificações térmicas e químicas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

O conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA 357/05 estabelece como ecossistema lótico, ambiente relativo a águas continentais moventes.

Os sistemas lóticos são divididos em rios, riachos e arroios. O rio é um curso de água de origem natural que desemboca no mar, rios ou outros corpos hídricos menores. Os riachos são corpos hídricos naturais, pequenos, afluentes de um corpo maior. Os arroios ligam rios e córregos e pode ser de origem natural ou artificial. Esses sistemas são formados pelo gelo derretido, drenagem do solo e água subterrânea (PEDROZO; KAPUSTA, 2010).

Nos ecossistemas lóticos, os produtores primários como as algas, estão onde o fluxo da água é menos intenso, preso em rochas e plantas, como também livres na água caso o fluxo esteja baixo. Os consumidores primários como os insetos

ocupam vários nichos diferentes como no fundo do rio, nas rochas e livres na água. Já na região bentônica, que é a parte profunda do corpo lótico, há diversas comunidades distintas, que se difere de acordo com a declividade do corpo hídrico e a velocidade da correnteza. Os peixes costumam se esconder nos rochedos onde o fluxo da água é menor, saindo apenas para se alimentar e se reproduzir, quando não migram para oceano (HAKENKAMP; MORIN, 2001).

As características desses corpos hídricos consistem em baixa temperatura e alta concentração de oxigênio onde o corpo possui alto fluxo de água. Nas regiões com menor fluxo observa-se uma concentração menor de oxigênio, com temperatura menor. Os rios costumam ter grande concentração de matéria orgânica por conta de animais mortos e vegetais que são carregados pelo rio. Quando esse material encontra uma área com menos fluxo de água, se decompõe por meio de bactérias, ou então é levado diretamente para o desague do rio (ESTEVES, 2011).

O homem vem modificando os ambientes lóticos principalmente por meio de represamento, transformando rios em lagos, para obtenção de energia elétrica. Isso gera um impacto em todo o equilíbrio bioquímico desses rios, diminuindo a biota presente como também aumentando as concentrações de nitrogênio, fósforo e conseqüentemente acidificando as águas, e bioacumulando metais pesados em todos os níveis tróficos (HAKENKAMP; MORIN, 2001).

Outras ações antrópicas é o desmatamento das matas ciliares, deixando o rio exposto a possíveis carregamentos de solo juntamente com agrotóxicos, pesticidas e outras fontes de poluição. O despejo de esgoto também é um fator preocupante. Esgoto de origem doméstica, comercial, e efluentes industriais. Esses fatores contribuem para o aumento de matéria orgânica e sólidos em suspensão, assoreamento do rio, consumo excessivo de oxigênio e acidificação da água. Tais ações antrópicas podem aumentar o custo do tratamento de água para abastecimento (BRASIL, 2014).

3.5 COAGULANTES ORGÂNICOS

3.5.1 *Moringa oleifera*

A árvore da *Moringa oleifera* pode atingir até 10 metros de altura. Seu caule é grosso e possui uma casca clara, é caducifólia, e suas folhas são bipinadas com até 3 centímetros de diâmetro. As flores são brancas ou creme e os frutos (vagens) passam de verde claro para marrom, quando atingido a maturidade fisiológica (CARMO, 2014). Possui ao menos 13 variedades de espécies, sendo a *Moringa oleifera* a espécie que mais se destaca. No Brasil essa espécie é conhecida como lírio branco e também como quiabo-de-quina (SILVA; MATOS, 2008).

Esta planta cresce rápido e pode ser resistente a secas com sua origem na Índia, mas hoje em dia é plantada em vários lugares que possui clima tropical. A *Moringa oleifera*, além de ser usado como coagulante, também pode ser para fins alimentícios e medicinais (OLADOJA; PAN, 2015).

As sementes da *Moringa oleifera* possuem proteínas solúveis em água que podem servir como clarificador para obtenção de água potável como também podem ser usadas como parte do tratamento de esgoto. É uma planta tropical que pertence à família *Moringaceae* e grande parte das espécies tem propriedades coagulantes em diferentes níveis (CAMACHO et al., 2017).

Segundo Paterniani, Mantovani e Sant'Anna (2009, p. 2), essas sementes são uma alternativa viável para pequenas comunidades que podem preparar seu próprio coagulante. Os autores também salientam que as sementes possuem “[...] proteínas com baixo peso molecular e quando seu pó é dissolvido em água, adquirem cargas positivas que atraem partículas negativamente carregadas tais como, argilas e siltes, formando flocos densos que sedimentam”.

A Figura 3 mostra uma árvore de *Moringa oleifera* situada no Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

Figura 3: Árvore da *Moringa oleifera*.



Fonte: Autoria própria.

Madrona et al. (2010) observou que esse coagulante é mais efetivo em águas com grandes níveis de turbidez, com uma eficácia de 99,7% de remoção do que para águas com média turbidez (160-400 NTU).

Franco (2010) constatado uma remoção de turbidez de 95% e de cor aparente de 93%, sendo os valores iniciais de turbidez e cor aparente de 93 NTU e 524 mg.L⁻¹, respectivamente. O autor também utilizou a filtração lenta no experimento.

Além de eliminar parâmetros físico-químicos da água, a semente mostrou-se eficiente na remoção de bactérias, reduzindo-as entre 90-99%, usando a *Moringa oleifera* como coagulante. O estudo também eliminou 80-99% da turbidez e percebeu-se que a bactéria foi concentrada no sedimento coagulado (MUYIBI & EVISON et al. 1995a)

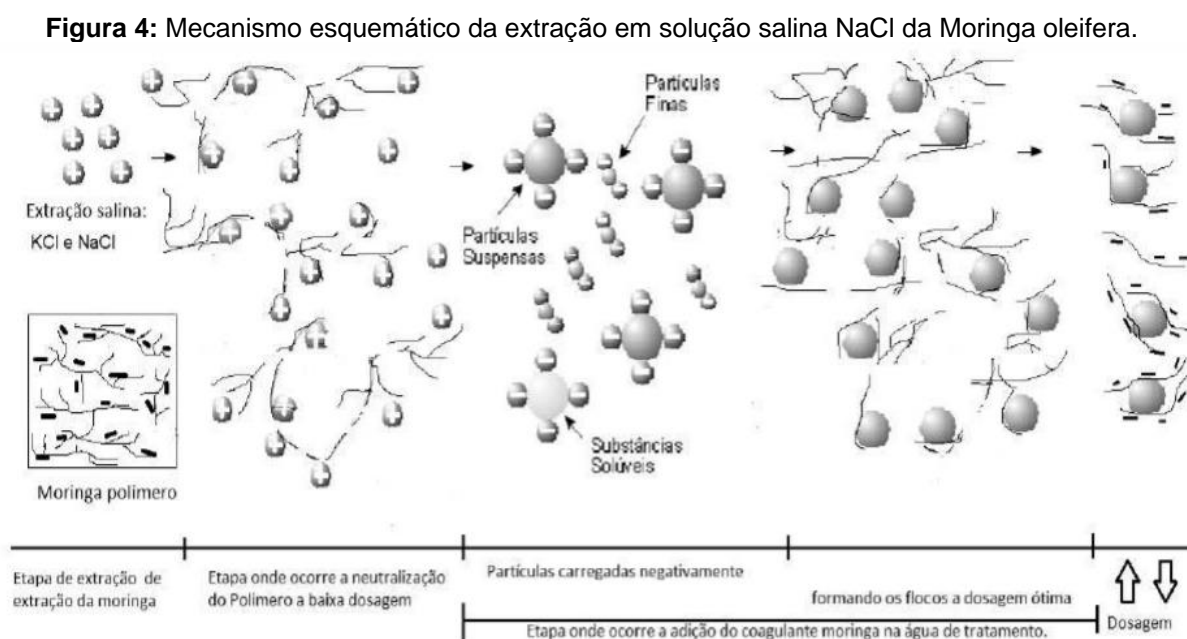
Cardoso et al. (2008) analisou a eficiência do coagulante na água em diferentes tempos de decantação e diferentes tempos de mistura rápida e lenta. Foram analisados tempos de decantação de 30, 60 e 90 minutos; misturas rápidas variando de 2 a 4 min e misturas lentas de 15 a 16 minutos. A melhor remoção de cor foi de 94,5% no tempo de sedimentação de 120 minutos, mistura rápida de 3 minutos e mistura lenta de 16 minutos. Já no parâmetro turbidez, o melhor resultado

foi de 95,6% de remoção também nos tempos de 3 e 16 minutos, sendo mistura rápida e lenta, respectivamente. O tempo de decantação pode ser de 60 a 120 minutos, obtendo o mesmo resultado.

De acordo Borba (2001), a coagulação usando as sementes pode acontecer entre os valores de pH de 4,0 a 12,0, ou seja, praticamente independente da alcalinidade da água. Ainda assim, o pH 7,0 mostrou ser o mais eficiente na literatura.

Theodoro et al. (2015) explica o mecanismo da extração em solução salina da semente de *Moringa oleifera* em quatro etapas que ocorre através de adsorção e pontes químicas. Primeiro ocorre a extração da moringa pela solução salina de NaCl e KCl. Na segunda etapa ocorre a neutralização de uma carga do polímero a baixa dosagem, desestabilizando assim as partículas. Alcançando a dosagem ótima, as partículas começam a se vincular, formando os flocos, mas sem a constituição da estrutura reticular pois houve a neutralização da carga positiva monovalente. A quarta e última etapa acontece caso não seja adicionado a quantidade ideal de coagulante, impossibilitando o entrelace das partículas.

A Figura 4 mostra o mecanismo explicado acima, proposto por Theodoro et al. (2015).



Fonte: Theodoro, 2015.

Segundo Piantá (2008, p.8), as vantagens do emprego dos coagulantes orgânicos são:

“[...] uso de matéria prima renovável, a menor geração de quantidade de lodo, a obtenção de lodo orgânico (não-perigoso de acordo com a NBR 10.004) eliminação de consumo de produtos alcalinizantes e auxiliares de coagulação e reduções dos custos globais do processo”.

Já as desvantagens podem ser que alguns coagulantes não possuam custo benefício positivo produzido em alta escala para uma alta demanda populacional necessitando de água potável (PIANTÁ, 2008).

3.5.2 Cacto *Opuntia cochenillifera*

De acordo com Verbel et al. (2014), o cacto *Opuntia cochenillifera* é uma suculenta e angiosperma de origem mexicana, mas é bem despargido no Brasil em ambientes mais secos. Ele é usado como fonte alimentícia tanto para o ser humano como para animais, é também muito usado em jardins e como corante natural e atualmente vem sendo estudado por suas propriedades coagulantes.

É conhecido como palma no Brasil por conta dos seus ramos ovalados e carnosos, conhecido cientificamente como cladódios. Outros nomes populares são Urumbeta e Cochonilha. Esse cacto possui flores avermelhadas que florescem de setembro a março. Sua reprodução pode ser com sementes ou por estaquia (LIM, 2012).

A Figura 5 mostra cactos *Opuntia cochenillifera* situados na zona norte de Londrina.

Figura 5: Cacto *Opuntia cochenillifera*.



Fonte: Autoria própria.

Belbahloul, Zouhri e Anouar (2015), indica que cactáceas (da família *Cactaceae*), possuem polissacarídeos, como mucilagem e pectinas, que são característicos dessa família. Essa mucilagem está servindo de base para diversos estudos pois é um polissacarídeo neutro que dá a habilidade para o cacto de armazenar certas quantidades de água. Quando a mucilagem entra em contato com água, esta tem a habilidade de precipitar partículas e íons em soluções aquosas, tornando-o um potencial coagulante.

Andrade (2018) evidenciou a remoção de 69,91% da turbidez usando o cacto *Opuntia Cochenillifera* com 10 minutos de sedimentação e 15 gramas de coagulante. Contatou-se também que o pH da solução apresentou uma mudança de 24,16% no pH, com pH inicial de 5,76 e final de 7,53.

Segundo Goes et al (2017), houve uma remoção de 97% da cor aparente e 96% da turbidez utilizando o *Opuntia cochenillifera* como coagulante orgânico aliado à filtração usando uma dosagem do coagulante de 4 mg.L⁻¹ e 7 mg.L⁻¹. Ele ainda afirma que o pH não influenciou significativamente a eficácia do coagulante.

Jiménez, Vargas e Quiróz (2012), testou a eficácia do cacto *Opuntia cochenillifera* na cor e turbidez em diversas amostras de água. O cacto mostrou eficácia no tratamento de água usando uma dose de 1,5 mg de CaO para alcalinidade, removendo 100% da turbidez e 94% da cor em uma amostra de pH neutro que apresentava baixa turbidez (18-22 NTU) e alta cor aparente (150-165 UC). A dose de coagulante usada foi de 45 mg.L⁻¹. Os autores chegaram na conclusão que os cátions de cálcio desestabilizaram os coloides, ajudando o cacto a obter uma excelente eficiência na remoção da cor e turbidez.

Terin (2017) mostra que além da eficácia na remoção da cor e turbidez, o cacto pode remover certos contaminantes. Analisou-se o desempenho do cacto *O. cochenillifera* como coagulante juntamente com filtração lenta na remoção de microcistina (toxina produzida pela cianobactéria *Microcystis aeruginosa*) e obteve uma remoção de 75,79%.

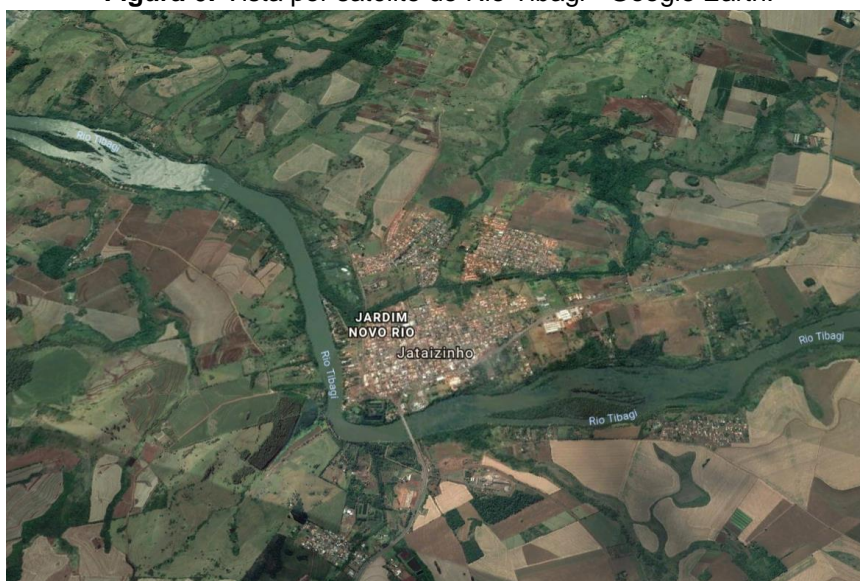
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o presente estudo de caso, a água analisada é advinda do Rio Tibagi. Este é localizado no Estado do Paraná, atravessa todo o estado com sua nascente na Serra das Almas a 1.100 metros para cima do nível do mar. A foz é no Rio Paranapanema que se localiza entre o Paraná e o Estado de São Paulo. A área da bacia é de 25.239 km² e passa por 41 municípios, sendo a bacia posicionada na porção Leste do Paraná. Na Figura 6 podemos ver parte deste rio por imagem de satélite.

A bacia do Rio Tibagi se encontra em estado precário, “[...] tanto em relação às águas quanto à vegetação sobre as margens, atualmente recobertas por culturas, pastagens ou capoeiras baixas” (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 2002).

Figura 6: Vista por satélite do Rio Tibagi - Google Earth.



Fonte: Google Earth, 2018.

De acordo com a Universidade Estadual de Londrina (2002), o clima da parte do Rio Tibagi da região Norte do Paraná caracteriza-se por Cfa subtropical úmido com verão quente. E o solo por Latossolo Vermelho Distroférico Argiloso (TAVARES; BARBOSA; RIBON, 2010). O rio é considerado também Classe 2 em mais de 90% de sua extensão.

4.2 AMOSTRAGEM

A amostragem foi feita no tanque de entrada de uma estação de tratamento de água que é abastecida pelo Rio Tibagi. Foram coletados 120 litros de água bruta, conforme planejamento experimental, e divididos em três bombonas plásticas de 50 litros higienizadas antecipadamente.

Para evitar a contaminação da água coletada e para balancear o espaço interno das bombonas, estas passaram por um procedimento chamado aclimação. Este processo implica em coletar uma parcela de água do local em questão, agitar e descartar logo em seguida. Esse processo se repetiu três vezes e então a água final foi coletada, armazenada e transportada até o laboratório de saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

4.3 COLETA DO *Cacto Opuntia cochenillifera* e *Moringa oleifera*

Os cactos foram coletados em Ibiporã, em um terreno baldio, no bairro São Francisco e as sementes de *Moringa oleifera* foram doadas pela Universidade de Campinas.

4.4 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, e as análises das características físico-químicas foram feitas no laboratório de Poluentes atmosféricos e no laboratório de Saneamento, localizado na cidade de Londrina-PR no Campus da UTFPR (Figura 7).

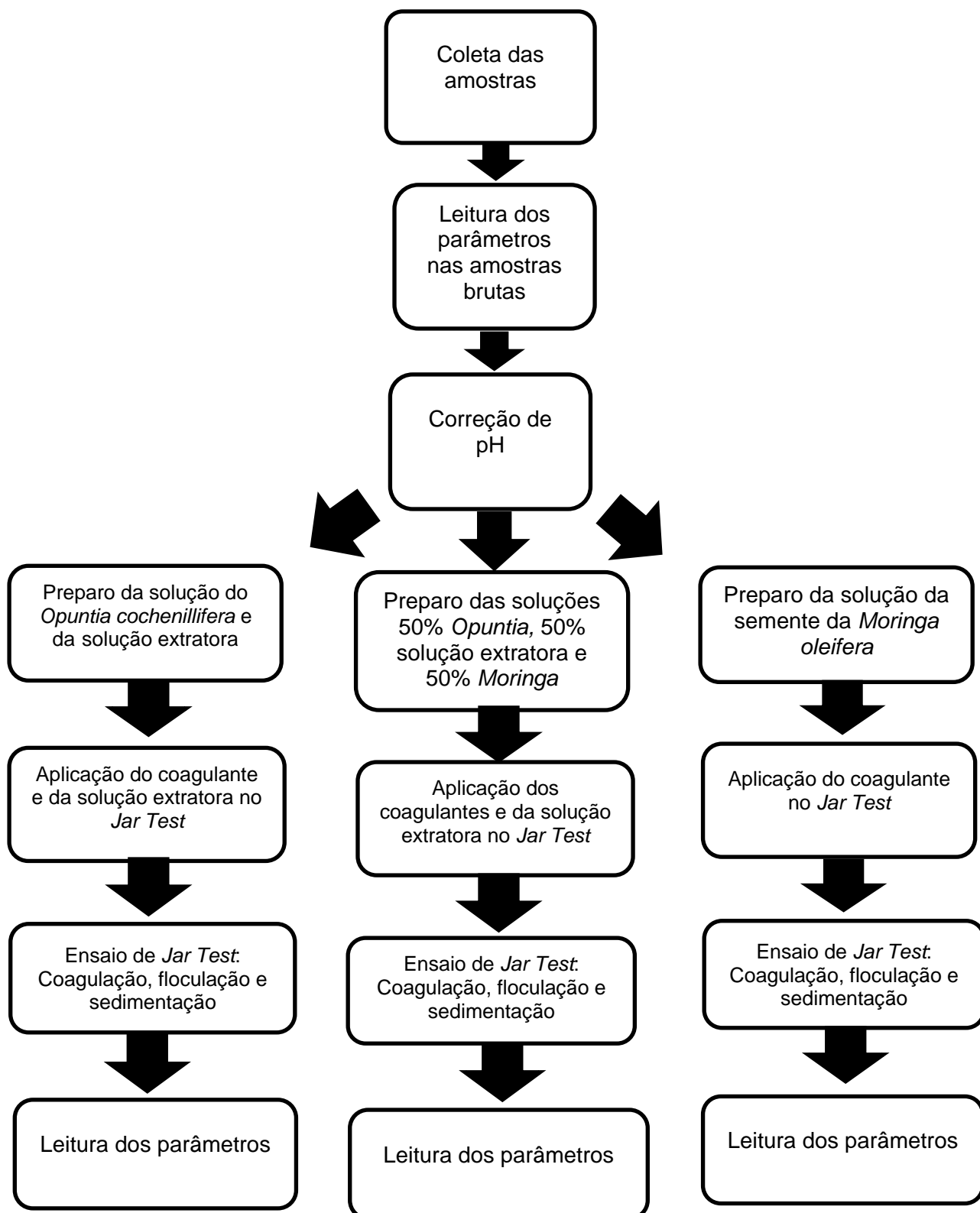
Figura 7: Laboratório de Saneamento e Laboratório de Poluentes Atmosféricos, localizados na UTFPR Londrina.



Fonte: Autoria própria.

4.5 FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS

Observa-se o fluxograma a seguir das principais etapas dos ensaios que foram realizados no laboratório de saneamento da UTFPR.



Fonte: Autoria própria.

4.6 SOLUÇÕES COAGULANTES

4.6.1 Preparação Das Soluções Do Coagulante Natural *Opuntia cochenillifera* e Extração da Mucilagem

Para o presente estudo, foi utilizado a metodologia de Zara et al. (2012) ajustada para este estudo. Para extrair o polímero natural, foram realizados dois passos. Primeiramente, foi feita a extração da mucilagem, no qual foi retirada toda a casca dos cactos juntamente com os espinhos. Em seguida, os cactos foram cortados para facilitar a trituração no liquidificador. A trituração foi feita juntamente com 100 mL de água utilizando um liquidificador comum no qual a mistura foi homogeneizada. A substância final foi armazenada em um frasco de vidro e colocada para refrigeração na temperatura de 5° C por 24 horas, para sedimentar e facilitar a extração da mucilagem. A Figura 8 mostra as etapas do preparo do coagulante.

Figura 8: a) Amostra do cacto *Opuntia cochenillifera*. b) Preparando o cacto para mucilagem. c) Liquidificação do cacto. d) Solução pronta para a extração da mucilagem.

a)



b)



c)



d)



Fonte: Autoria própria.

Para o preparo da solução extratora, foi utilizado cloreto de sódio (NaCl) 1% e hidróxido de sódio (NaOH 0,10 mol L⁻¹). Ou seja, foram dissolvidos 10 gramas de NaCl em 1L de água destilada e, 4 gramas de NaOH em 1 litro de água destilada. As duas soluções foram misturadas em um recipiente, formando a solução extratora (Figura 9). A metodologia para a realização dessa solução foi feita adaptação segundo Zara et al. (2012).

Figura 9: Amostra da solução extratora pronta.



Fonte: Autoria própria.

4.6.2 Preparação Da Soluções De *Moringa oleifera*

Para a solução do coagulante orgânico *Moringa oleifera*, inicialmente foi descascado e pesado 10g de semente de *Moringa oleifera*. Foi pesado também 58,44 g de NaCl (cloreto de sódio) e adicionado 1 L de água destilada, agitando bastante para que o sal se dissolva completamente, obtendo uma solução salina com concentração de NaCl 1M. Em seguida, os 10 g de semente foram triturados juntamente com a solução salina de NaCl 1M no liquidificador. Para obter uma solução homogênea, a solução foi filtrada utilizando um coador para que então, atingisse a solução salina de *Moringa oleifera* com concentração 10 g.L⁻¹. A metodologia foi retirada do trabalho de Belisário (2017). A Figura 10 mostra o preparo do coagulante.

Figura 10: a) Semente da Moringa oleifera. b) Semente da Moringa oleifera descascada. c) Liquidificação da Moringa oleifera com a solução de NaCl 1M.

a)



b)



c)



Fonte: Autoria própria.

4.7 AJUSTE DO pH

Sendo a amostra de água dividido em três galões, cada galão teve um pH específico, sendo básico, neutro e ácido, conforme planejamento experimental. O objetivo é analisar se diferentes valores de pH afetam o processo de coagulação/floculação/sedimentação, bem como o desempenho dos coagulantes. Primeiramente o pH da água bruta foi medida, apresentando valor de 7,15, ou seja, próximo da neutralidade, não necessitando correção. A partir disso, outro galão teve seu pH corrigido inserindo 26 mL de ácido clorídrico (HCl 1M), alterando o pH para

3,49 (ácido). Assim, no último galão, foi inserido 15 mL de base hidróxido de sódio (NaOH 1M), mudando o pH para 10,20 (básico).

4.8 PRÉ-ENSAIO

O pré-ensaio da coagulação/floculação, é essencial para determinar a concentração ideal dos coagulantes para a realização dos ensaios. Com base na metodologia de Theodoro (2012), o coagulante foi adicionado aos poucos com uma pipeta, em uma amostra de 100 mL de água bruta em um béquer, verificando o instante em que houve a formação de flocos. Na Tabela 1, se encontram as concentrações de cada coagulante e da solução extratora, seguindo os três níveis do planejamento estatístico.

Tabela 1: Valores das soluções utilizadas nos ensaios.

Níveis	Solução cacto (mL)	Solução extratora (mL)	Solução salina (mL)
-1	1	2,5	2,5
0	2	5	5
1	3	7,5	7,5

Fonte: Modificada de Melo, 2017.

4.9 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

O equipamento de *jar test* utilizado foi da marca Nova Ética, modelo 218 – LDB/06 para a experimentação de coagulação, floculação e sedimentação. Esse equipamento possui seis jarros de 2 litros com pás rotativas que regulam a velocidade de rotação.

Os valores de tempo e velocidade realizados no *jar test* foram baseados na metodologia usada na estação de tratamento de água da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). Para espalhar o coagulante, o processo consiste em uma mistura rápida, seguido de um declínio em quatro etapas de mistura lenta nos floculadores. As variáveis são o tempo de detenção (min) e o gradiente de velocidade (s^{-1}). Na Tabela 2 pode-se observar o gradiente e tempo para cada tempo de ação.

Tabela 2: Gradiente de concentração das hastes misturadoras e tempo de ação.

Mistura Rápida	Mistura Lenta 1	Mistura Lenta 2	Mistura Lenta 3	Mistura Lenta 4
Gradiente (s ⁻¹)/ Tempo (min)	Gradiente /(s ⁻¹) Tempo (min)	Gradiente (s ⁻¹)/ Tempo (min)	Gradiente (s ⁻¹)/ Tempo (min)	Gradiente (s ⁻¹)/ Tempo (min)
450 / 00:10	90 / 02:00	52 / 02:35	40 / 02:40	30 / 05:40

Fonte: Modificado de Trevisan, 2014.

Em seguida, o tempo de sedimentação foi de 30 minutos, seguindo metodologia de Trevisan (2014). Foram feitas coletas de água de 10 em 10 minutos, a primeira foi no tempo de espera (T1) de 10 minutos de sedimentação e a partir disso mais 2 coletas, no tempo (T2) de 20 minutos e (T3) de 30 minutos. Esse método foi realizado a fim de analisar o quão eficiente o coagulante se apresenta em uma dada variação de tempo de sedimentação.

4.10 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Na Tabela 3 é exibido todos os parâmetros analisados bem como os equipamentos utilizados e a metodologia adotada.

Tabela 3: Equipamentos e metodologia utilizados para medição dos parâmetros.

PARÂMETROS	EQUIPAMENTOS	METODOLOGIAS
Cor Aparente (HC)	Espectrofotômetro Hach DR 5000	2120 C
Turbidez (NTU)	Turbidímetro Tecnopom AP 2000	2130 B
Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)	Condutivímetro Mca 150	2510 B
pH	pHmetro mPA 2000	4500-H ⁺ B

Fonte: APHA, 2012.

Para determinar o percentual de remoção da cor aparente e turbidez utilizou-se a Equação 1:

$$E = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100 \quad (1)$$

Sendo: E = Eficiência de remoção (%); V1 = Valor do parâmetro medido na amostra bruta (NTU ou uH); V2 = Valor do parâmetro medido depois da coagulação/floculação/sedimentação (NTU ou uH).

4.10.1 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS

Para a determinação dos Sólidos Dissolvidos Totais nas amostras, foi feita a leitura direta usando o aparelho *TDS Meter 3 Water Quality Tester*, visto na Figura 11. Sua leitura é feita em ppm e o alcance vai de 0 até 9.990 ppm.

Figura 11: Equipamento utilizado para a determinação de Sólidos Dissolvidos Totais.



Fonte: Autoria própria.

4.11 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Na Tabela 4, pode-se ver o código adotado para os coagulantes no planejamento estatístico. Para cada coagulante, as concentrações que foram usadas são fundamentadas em pesquisas feitas por Pavanelli (2001), Trevisan (2014) e Yugi (2015).

Para manipulação dos dados, fez-se uso do Planejamento Estatístico Fatorial 3^2 , isto é, são duas variáveis (concentração de coagulante e pH), em duplicata e com três níveis de codificação (-1, 0 e 1). Esta análise dos dados foi feita por meio do software *Statística 7.0*.

Tabela 4: Correlação entre os coagulantes e seus respectivos códigos.

Coagulantes	Códigos
Solução salina <i>M. oleifera</i> (M)	A
Cacto diluído + Solução extratora (CD +S)	B
50% Solução salina <i>M. oleifera</i> + 50% Cacto diluído + 50% Solução extratora (M/2 + CD/2 + S/2)	C

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 5, consta o Planejamento Experimental para análise.

Tabela 5: Planejamento fatorial dos coagulantes e pH.

Ensaio	Réplica	A (mL) = (M)		B (mL) = (CD+ S)		C (mL) = (M/2 + CD/2 + S/2)		pH	
4	1	0	5	0	2 + 5	0	2,5 + 1 + 2,5	-1	3,49
18	1	1	7,5	1	3 + 7,5	1	3,75 + 1,5 + 3,75	1	10,20
8	1	1	7,5	1	3 + 7,5	1	3,75 + 1,15 + 3,75	0	7,25
15	1	0	5	0	2 + 5	0	2,5 + 1 + 2,5	1	10,20
17	2	1	7,5	1	3 + 7,5	1	3,75 + 1,5 + 3,75	0	7,25
7	1	1	7,5	1	3 + 7,5	1	3,75 + 1,5 + 3,75	-1	3,49
1	1	-1	2,5	-1	1 + 2,5	-1	1,25 + 0,5 + 1,25	-1	3,49
3	1	-1	2,5	-1	1 + 2,5	-1	1,25 + 0,5 + 1,25	1	10,20
14	1	0	5	0	2 + 5	0	2,5 + 1 + 2,5	0	7,25
12	2	-1	2,5	-1	1 + 2,5	-1	1,25 + 0,5 + 1,25	1	10,20
2	1	-1	2,5	-1	1 + 2,5	-1	1,25 + 0,5 + 1,25	0	7,25
10	2	-1	2,5	-1	1 + 2,5	-1	1,25 + 0,5 + 1,25	-1	3,49
11	2	-1	2,5	-1	1 + 2,5	-1	1,25 + 0,5 + 1,25	0	7,25
16	2	1	7,5	1	3 + 7,5	1	3,75 + 1,5 + 3,75	-1	3,49
9	2	1	7,5	1	3 + 7,5	1	3,75 + 1,5 + 3,75	1	10,20
13	2	0	5	0	2 + 5	0	2,5 + 1 + 2,5	-1	3,49
5	2	0	5	0	2 + 5	0	2,5 + 1 + 2,5	0	7,25
6	2	0	5	0	2 + 5	0	2,5 + 1 + 2,5	1	10,20

Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

A leitura dos parâmetros brutos foi feita em seguida da amostragem, assim que as amostras chegaram na UTFPR para análise. Os parâmetros medidos foram cor aparente, turbidez, pH, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais. Os valores estão na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros da água bruta.

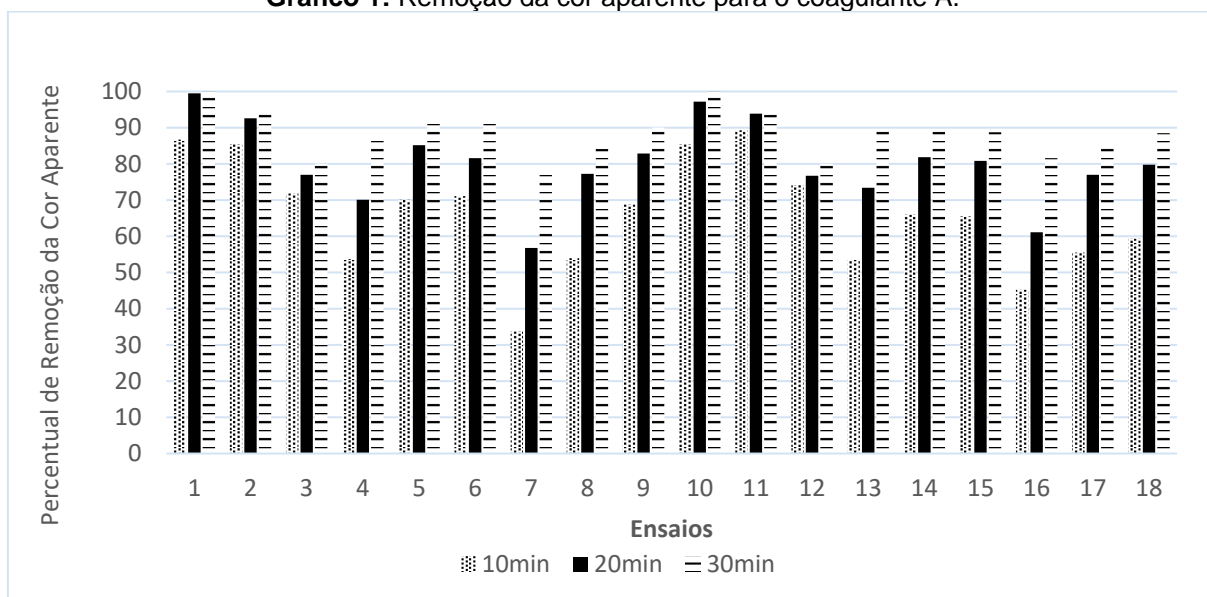
Cor Aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Sólidos Dissolvidos Totais (ppm)	Condutividade Elétrica (mS.cm⁻¹)
391	75	7,25	25	0,13

Fonte: Autoria própria.

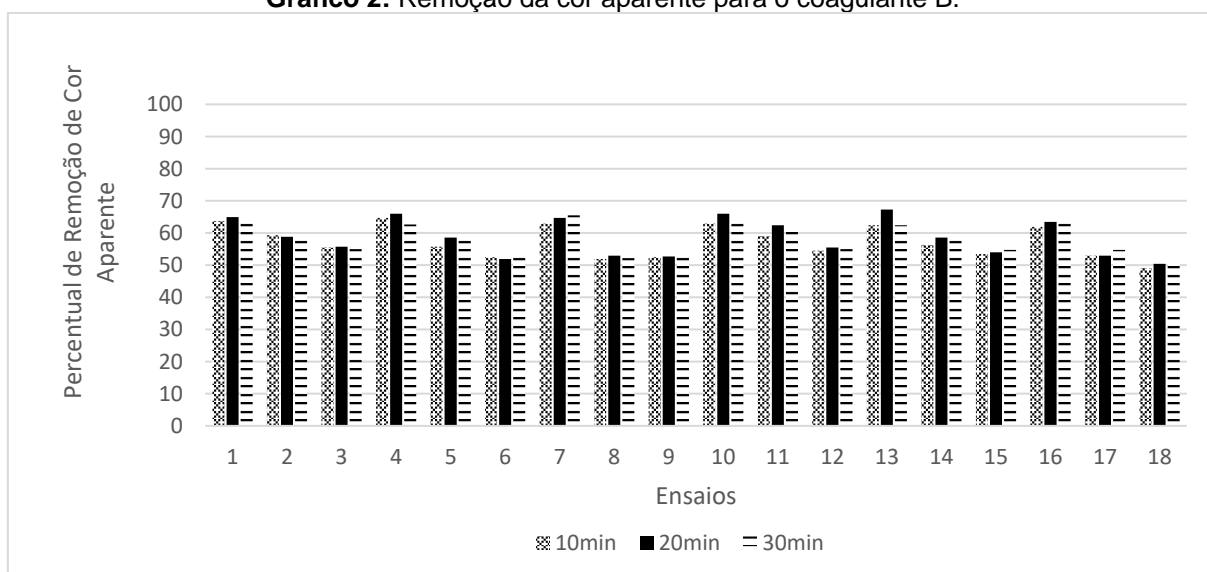
5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

5.2.1 Remoção da Cor Aparente

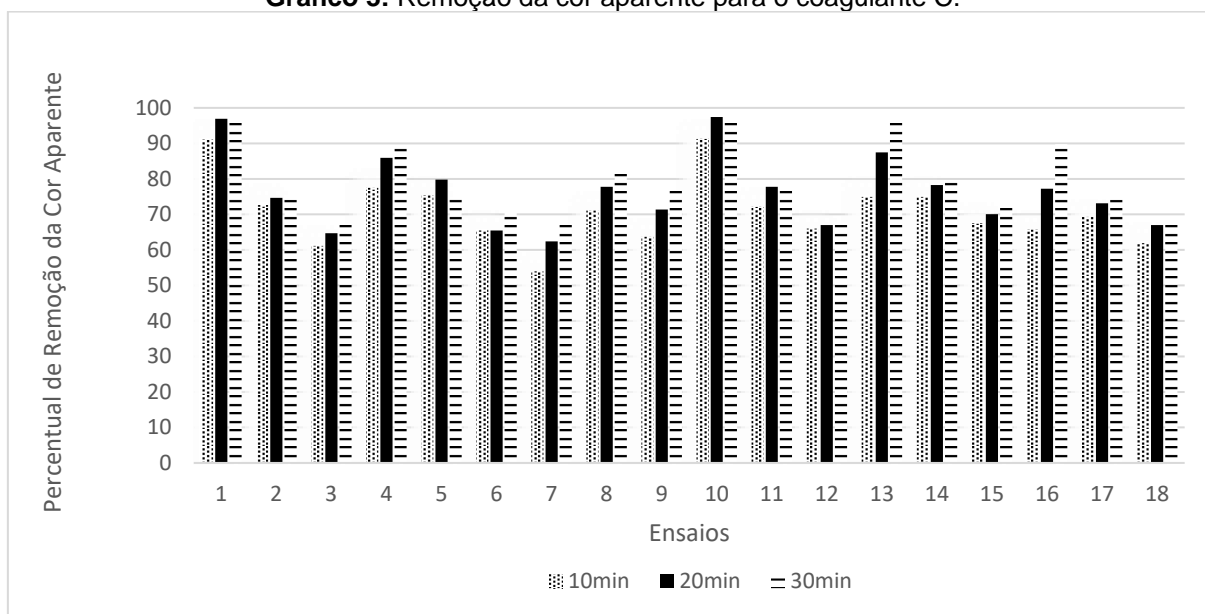
Os Gráficos 1, 2 e 3 mostram o percentual de remoção do parâmetro cor aparente, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação utilizando os coagulantes A, B e C, respectivamente, em diferentes valores de concentração e pH.

Gráfico 1: Remoção da cor aparente para o coagulante A.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 2: Remoção da cor aparente para o coagulante B.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 3: Remoção da cor aparente para o coagulante C.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 1, pode-se observar que os melhores valores de remoção do parâmetro cor para o coagulante A foram obtidos com 30 minutos de sedimentação, variando de 76,98% (ensaio 7) a 100% de remoção (ensaios 1 e 10 nos quais são réplicas). O ensaio 1 e 10, que apresentaram a melhor remoção, possuem concentração de coagulante 5 mg.L^{-1} e pH ácido de 3,49, sendo essa a melhor combinação para remoção da cor usando o coagulante A.

O tempo de sedimentação de 10 minutos apresentou os menores valores de remoção que estavam entre 33,76% (ensaio 9) e 89,26 (ensaio 11). Analisando esses resultados e o gráfico, conclui-se então que o tempo de sedimentação para o coagulante A está diretamente associada à eficácia na remoção da cor.

Em relação a variação da dosagem do coagulante com 30 minutos de sedimentação, a melhor eficiência na remoção foi com a dosagem de $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando uma remoção de 80% (ensaios 3 e 12 nos quais são réplicas) a 100% (ensaio 1 e 10). As demais concentrações de coagulante 5 mg.L^{-1} e $7,5 \text{ mg.L}^{-1}$ obtiveram remoções de 87% (ensaio 4) a 91% (ensaios 5 e 6) e 76% (ensaios 7) a 90% (ensaio 9), respectivamente.

Analisando a influência do pH no tempo de 30 minutos, os ensaios com pH ácido (3,49) obtiveram os melhores resultados de remoção variando de 81 (ensaio 16) a 100% (ensaios 1 e 10). Os demais ensaios com pH (7,25 e 10,20) obtiveram

remoções de 84% (Ensaio 8) a 93% (ensaio 2 e 11, réplicas) e de 80 (ensaio 3 e 12 - réplicas) a 91% (ensaio 6).

Em relação ao Gráfico 2, a menor eficiência na remoção de cor para o coagulante B obtida em 10, 20 e 30 minutos de sedimentação foi, respectivamente, de 49,10% (ensaio 18), 50% (ensaio 18) e 51% (ensaio 18). Para os melhores resultados na remoção desse parâmetro, tem-se os resultados de 65% (ensaio 4 com pH de 3,49 e coagulante 5 mg.L⁻¹), 67% (ensaio 13 com pH de 3,49, coagulante 2 mg.L⁻¹ e solução extratora 5 mg.L⁻¹) e 65,47% (ensaio 7 com pH de 3,49 e coagulante 7,5 mg.L⁻¹). Observando o gráfico, percebe-se que não há relação entre o tempo de sedimentação com a eficiência na remoção da cor. Os valores de remoção no tempo 30, comparado com o tempo 10, praticamente se estabilizou, mostrando que 10 minutos de sedimentação para o coagulante B já é suficiente para obter a remoção máxima possível da cor. Em contrapartida, o pH interfere diretamente na remoção desse parâmetro. Os ensaios realizados com pH ácido (3,49) obtiveram uma eficiência melhor na remoção da cor, sendo eles os ensaios 1, 4, 7, 10, 13 e 16. Não houve relação aparente entre a concentração de coagulante e a remoção da cor.

O Gráfico 3 mostra a eficiência de remoção da cor pelo coagulante C (associação do *Opuntia cochenillifera* com *Moringa oleifera*). As piores porcentagens de remoção em cada tempo de sedimentação foram no ensaio 7 com valores de 54% (10 minutos), 62% (20 minutos) e 67% (30 minutos), respectivamente. Já os melhores valores para cada tempo de sedimentação foram nos ensaios 1 e 10 (pH 3,49, coagulante 1,75 mg.L⁻¹ e solução extratora 1,25 mg.L⁻¹) com valores de 91% (10 minutos), 97% (20 minutos) e 97% (30 minutos).

As melhores remoções de cor acontecem na maioria dos ensaios com 20 minutos de sedimentação, variando de 65% (ensaio 6) a 97% (ensaio 10). Na maioria dos ensaios no tempo 30 observa-se uma leve decaída na remoção de cor (67% - 95%), o que pode ser explicado pela grande matéria orgânica do cacto que pode atrapalhar um pouco na remoção da cor com sedimentação maior que 20 minutos. A variação de pH exerce pouca influência na remoção da cor. O que se pode observar diante disso é que a maioria dos ensaios com pH ácido possuem um índice pouco maior de remoção. A concentração de 1,75 mg.L⁻¹ para o coagulante e 1,25 mg.L⁻¹ de solução extratora apresentam os melhores resultados variando de 64% a 96% de remoção de cor.

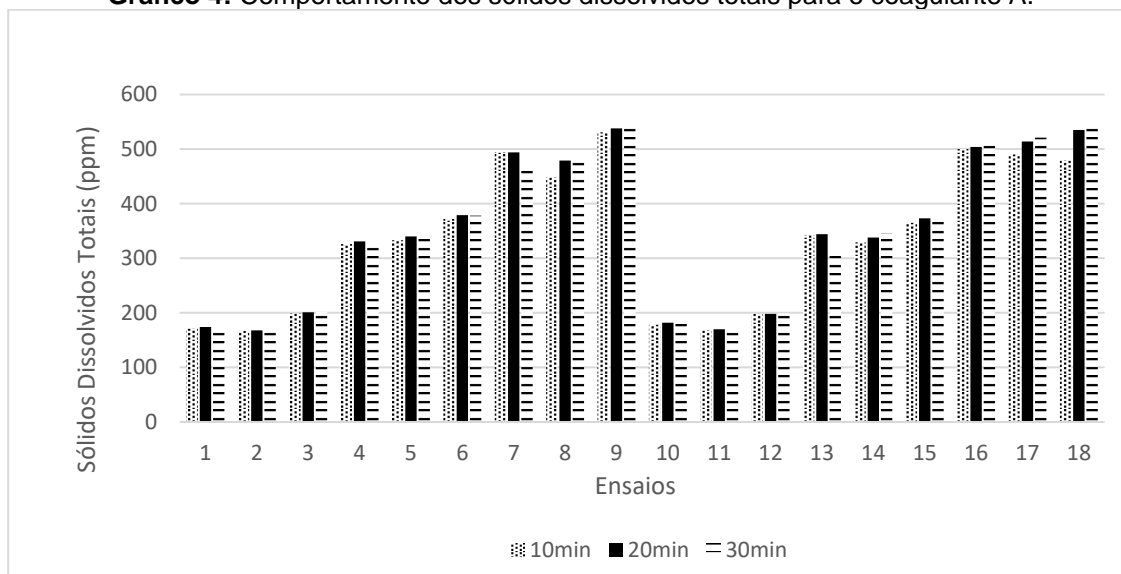
Goes et al. (2017) removeu 97% da cor e Jimenéz, Vargas e Quiróz (2012), 94% da cor, usando o coagulante B. Em contrapartida, neste trabalho, o máximo de remoção foi de 67%. Isso pode ser explicado pelo fato que nos dois trabalhos utilizaram também a filtração nos trabalhos sendo que neste trabalho foi utilizado apenas coagulação/floculação/sedimentação.

Dentre todos esses dados, o coagulante mais eficaz para a remoção de cor na água do Rio Tibagi foi o coagulante A, em meio ácido e concentração de coagulante de 5 mg.L⁻¹.

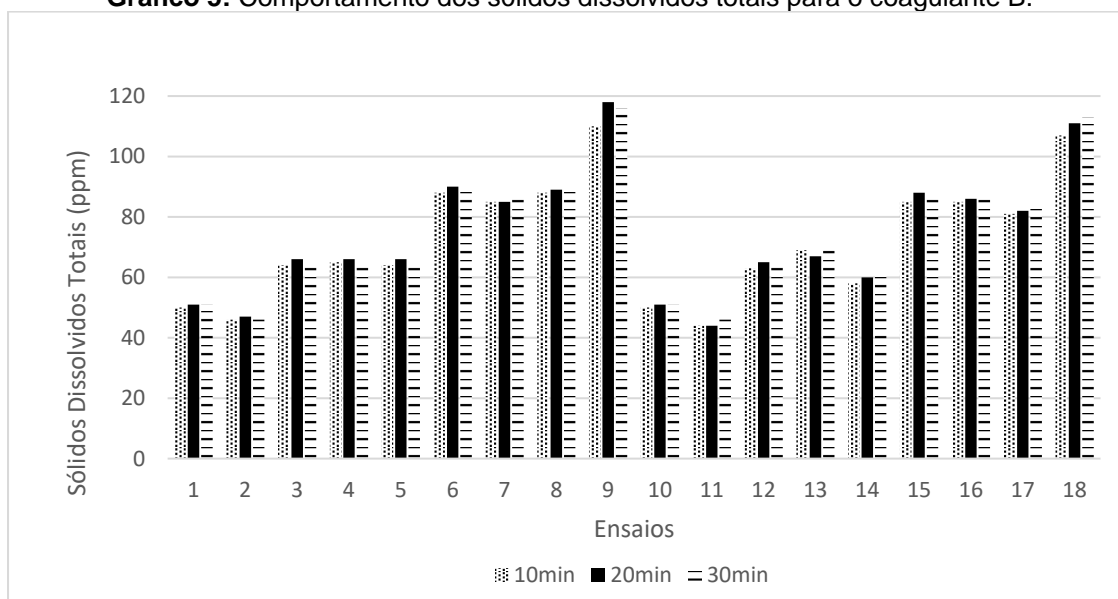
5.2.2 Comportamento dos Sólidos Dissolvidos Totais

Os Gráficos 4, 5 e 6 mostram o comportamento dos sólidos dissolvidos totais, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação utilizando os coagulantes A, B e C, respectivamente, em diferentes valores de concentração e pH.

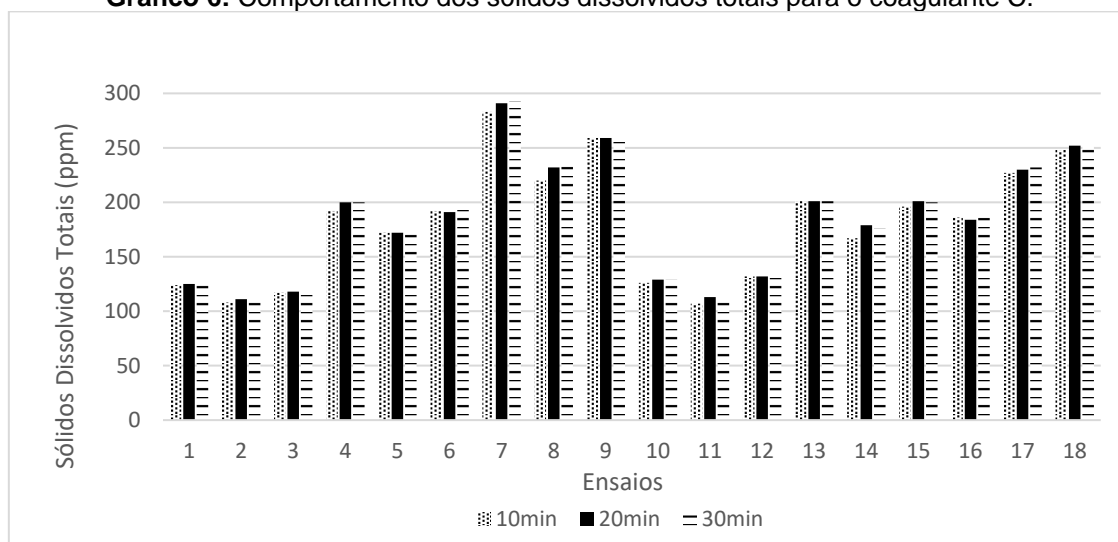
Gráfico 4: Comportamento dos sólidos dissolvidos totais para o coagulante A.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 5: Comportamento dos sólidos dissolvidos totais para o coagulante B.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 6: Comportamento dos sólidos dissolvidos totais para o coagulante C.

Fonte: Autoria própria.

É importante ressaltar que a Tabela 8 mostra todos os parâmetros da água bruta, incluindo os sólidos dissolvidos totais que se encontravam no valor de 25 ppm. Sabendo disso e observando os Gráficos 4, 5 e 6 percebe-se que todos os ensaios dos três gráficos, tiveram um aumento dos sólidos dissolvidos totais. Os menores aumentos foram em alguns ensaios do coagulante B (Gráfico 5) enquanto os maiores aumentos aconteceram em uns ensaios do coagulante A (Gráfico 4).

Os valores dos sólidos dissolvidos totais nos três gráficos não variam significativamente nos diferentes tempos de sedimentação, porém os ensaios de pH básico (10,40) com o coagulante A (Gráfico 4) e com o coagulante B (Gráfico 5) se

mostram com valores maiores de TDS (sólidos dissolvidos totais). Não houve relação entre o pH e TDS no Gráfico 6 com coagulante C. No Gráfico 4 os valores de TDS para os ensaios básicos variam de 198 a 541 ppm e no Gráfico 5 os mesmos ensaios variam de 63 a 118 ppm.

Em relação a variação de concentração dos coagulantes, todos os ensaios com concentração de coagulante (1) no planejamento experimental, nos três gráficos, tiveram maiores valores de TDS, enquanto os menores valores foram atribuídos para os ensaios com concentração de coagulante (-1) no planejamento experimental. No Gráfico 4 a variação de TDS nos ensaios de coagulante (1) variam de 448 a 541 ppm e nos ensaios de coagulante (-1), de 167 a 202 ppm. No Gráfico 5 a variação é de 81 a 116 ppm e 50 a 65 ppm para os ensaios de concentração de coagulante (1) e (-1), respectivamente. Por fim, no Gráfico 6, os ensaios de coagulante (1) variam de 184 a 293 ppm e para ensaios de coagulante (-1), 107 a 132 ppm.

Sabendo que o parâmetro cor está diretamente associado ao TDS, os ensaios básicos com o coagulante A e o coagulante B se mostraram com maior valor de TDS pois os mesmos obtiveram menor remoção de cor (Gráficos 1 e 2).

A provável razão pelo qual todos os ensaios tiveram um aumento nos valores de TDS, é pelo fato que os coagulantes usados nos experimentos são naturais e orgânicos, e quando introduzidos na água, a matéria orgânica se dissocia, aumentando os nutrientes e sais na amostra e conseqüentemente aumentando os sólidos dissolvidos totais.

Batista et al. (2013) confirma que há elevação significativa nos valores dos sólidos dissolvidos usando a *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de água e que maiores dosagens de coagulante possuem maior valor de TDS pois são incorporados diversos sais e nutrientes presentes na sua constituição. O valor de TDS era de 743 ppm na água bruta e aumentou para 750 ppm com a dosagem de coagulante de 400 mg.L⁻¹. Para uma dosagem de coagulante maior, de 2200 mg.L⁻¹, o TDS aumentou para 897 ppm.

Solana (2014) também presencia um aumento no TDS usando a *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento de água e no tratamento de efluentes.

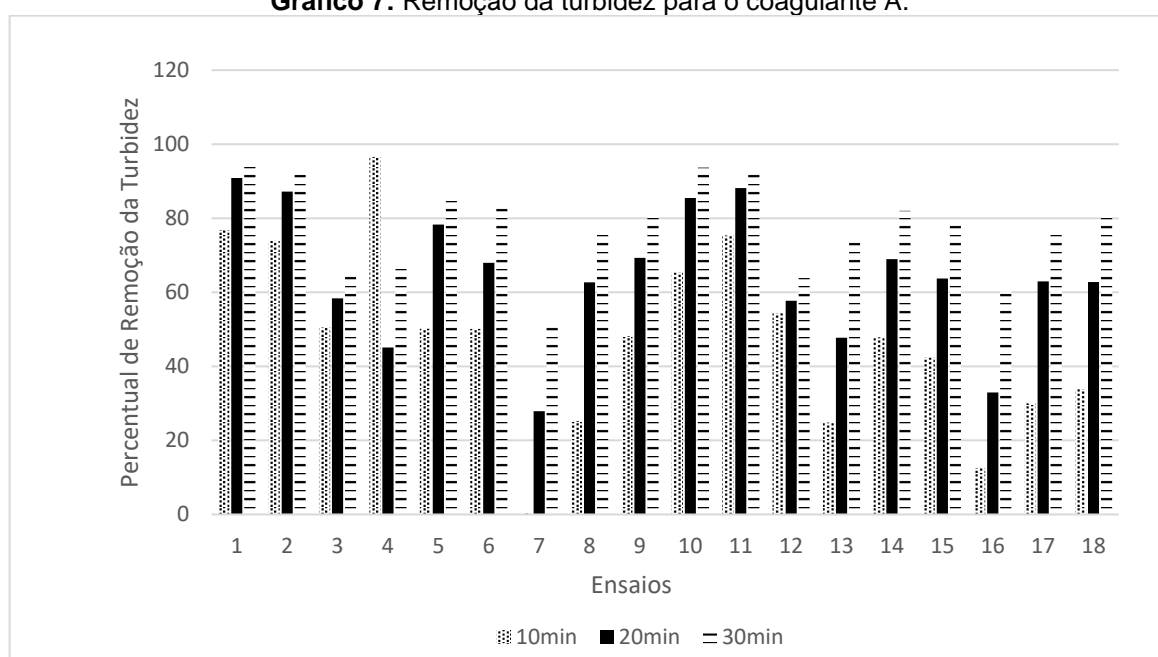
Verbel, Martínez e Gazabón (2013), no estudo sobre a remoção da turbidez de um determinado rio usando o cacto *Opuntia cochenillifera*, presenciam um aumento nos sólidos dissolvidos totais, comparado com o valor da água bruta com

72 ppm para o valor final de 90 ppm, devido à dissolução do coagulante orgânico. A dosagem do coagulante *Opuntia cochenillifera* foi de 40 mg.L⁻¹.

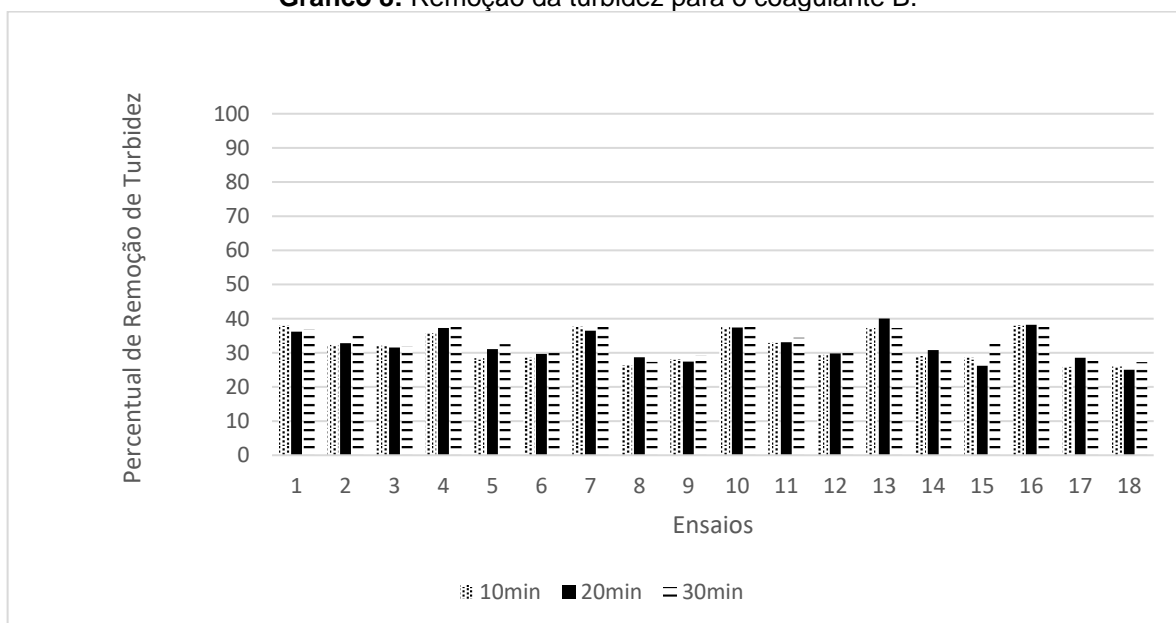
5.2.3 Remoção da Turbidez

Os Gráficos 7, 8 e 9 mostram o percentual de remoção do parâmetro turbidez, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação utilizando os coagulantes A, B e C, respectivamente, em diferentes valores de concentração e pH.

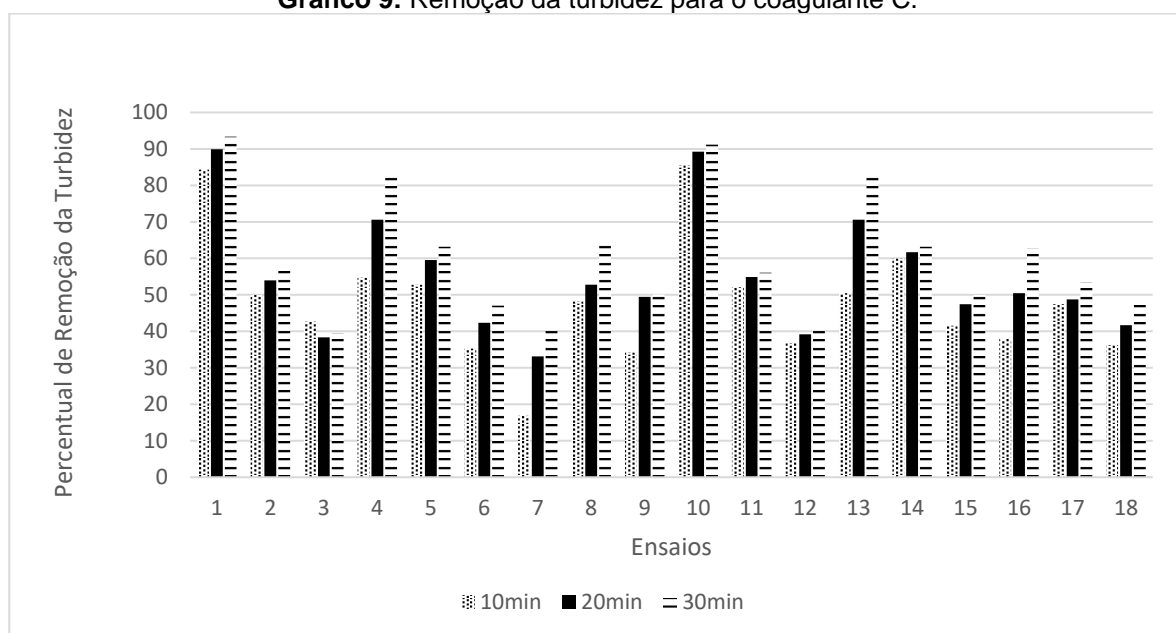
Gráfico 7: Remoção da turbidez para o coagulante A.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 8: Remoção da turbidez para o coagulante B.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 9: Remoção da turbidez para o coagulante C.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 7 observa-se uma remoção de turbidez de até 94%, realizado pelo ensaio 1 com concentração de coagulante 5 mg.L^{-1} e pH de 3,49. Houve melhor remoção da turbidez após 30 minutos de sedimentação, variando de 51% (Ensaio 7) a 94% (Ensaio 1), mostrando que quanto maior o tempo de sedimentação, maior a remoção da turbidez, usando o coagulante A. Nota-se no ensaio 4, uma remoção maior com 10 minutos de sedimentação, decorrência de erro de medição do parâmetro.

No tempo de 10 minutos de sedimentação houve remoção de 0,28% (Ensaio 7) a 76% (Ensaio 1), mostrando a menor porcentagem de remoção para os três tempos de sedimentação analisados.

As melhores porcentagens de remoção foram para a concentração de coagulante (-1) no planejamento experimental, equivalendo a 2,5 mg.L⁻¹ e apresentando remoções de 63 (Ensaio 12) a 94% (Ensaio 1) para 30 minutos de sedimentação. A concentração de coagulante 5 mg.L⁻¹ obteve 67 (Ensaio 4) a 86% (Ensaio 5) e a concentração de 7,5 mg.L⁻¹ obteve 51 (Ensaio 7) a 81% (Ensaio 9) de remoção da turbidez. Já em relação ao pH, os ensaios neutros (pH de 7,25) obtiveram as melhores remoções, variando de 76 (Ensaio 8) a 92% (Ensaio 11).

Higashi (2015) e Belisário (2017) obtiveram remoção de turbidez acima de 80% usando a *Moringa oleifera* nos processos de coagulação/floculação/sedimentação com concentrações de coagulante de 15 mg.L⁻¹ e 9 mg.L⁻¹, respectivamente.

Sobre o Gráfico 8, as menores remoções da turbidez usando o coagulante B, para os tempos 10, 20 e 30 de sedimentação foi 25% (Ensaio 17), 25% (Ensaio 18) e 27% (Ensaio 18), respectivamente. Os melhores resultados para a remoção de turbidez foram 37% (Ensaio 1 com pH 3,49, coagulante 1 mg.L⁻¹ e solução extratora 2,5 mg.L⁻¹), 38% (Ensaio 16 com pH 3,49, coagulante 3 mg.L⁻¹ e solução extratora 7,5 mg.L⁻¹) e 39% (Ensaio 16 com pH 3,49, coagulante 3 mg.L⁻¹ e solução extratora 7,5 mg.L⁻¹) para os tempos 10, 20 e 30 de sedimentação, separadamente. Em relação ao pH, os ensaios ácidos (1, 4, 7, 10, 13, 16) mostraram os maiores valores de remoção de turbidez. A variação de coagulante e o tempo de sedimentação não interferiram na remoção da turbidez. O tempo de sedimentação variou muito pouco, não tendo mudanças significativas e mostrando que 10 minutos de sedimentação seriam suficientes para a remoção da turbidez usando o coagulante B.

Melo (2017) e Ferreira (2015) tiveram as respectivas remoções de turbidez de 51% e 69% enquanto Goes et al. (2017) teve 96% de remoção, porém este usou um processo a mais, a filtração. Ferreira (2015) conclui que o coagulante B mostra ter potencial nas suas propriedades como coagulante, porém os métodos de extração dos princípios ativos deste ainda precisam ser mais estudados para aumentar a sua eficiência.

Através do Gráfico 9, pode-se analisar a eficiência de remoção da turbidez pelo coagulante C, na qual é a associação do cacto *Opuntia cochenillifera* e a

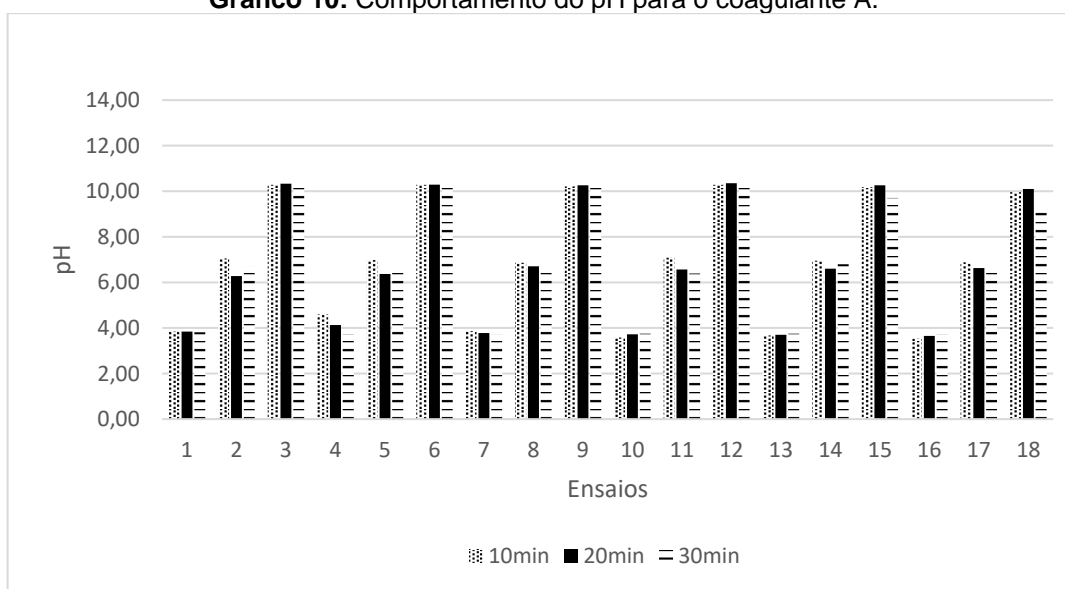
Moringa oleifera. Os melhores resultados de remoção foram com 30 minutos de sedimentação, com a melhor remoção chegando a 93,4% (Ensaio 1), pH 3,49, concentração de coagulantes totalizando 1,75 mg.L⁻¹ e solução extratora 1,25 mg.L⁻¹. Já os piores resultados foram com 10 minutos de sedimentação sendo o pior com 34% (Ensaio 9). Conclui-se então que o tempo de sedimentação influencia diretamente na porcentagem de remoção, porém o pH não possui nenhuma influência significativa na remoção da turbidez. O coagulante (-1) no planejamento experimental com concentração 1,75 mg.L⁻¹ e solução extratora 1,25 mg.L⁻¹, mostrou ter a melhor eficiência, com a variação de 36 – 93% de remoção. Os demais coagulantes, (0) e (1) no planejamento experimental, apresentaram remoções com a variação 35% – 82% e 16 – 53%.

Analisando os três coagulantes, conclui-se que o coagulante A e o coagulante C possuem as maiores eficiências na remoção da turbidez, removendo 94% e 93% da turbidez, respectivamente.

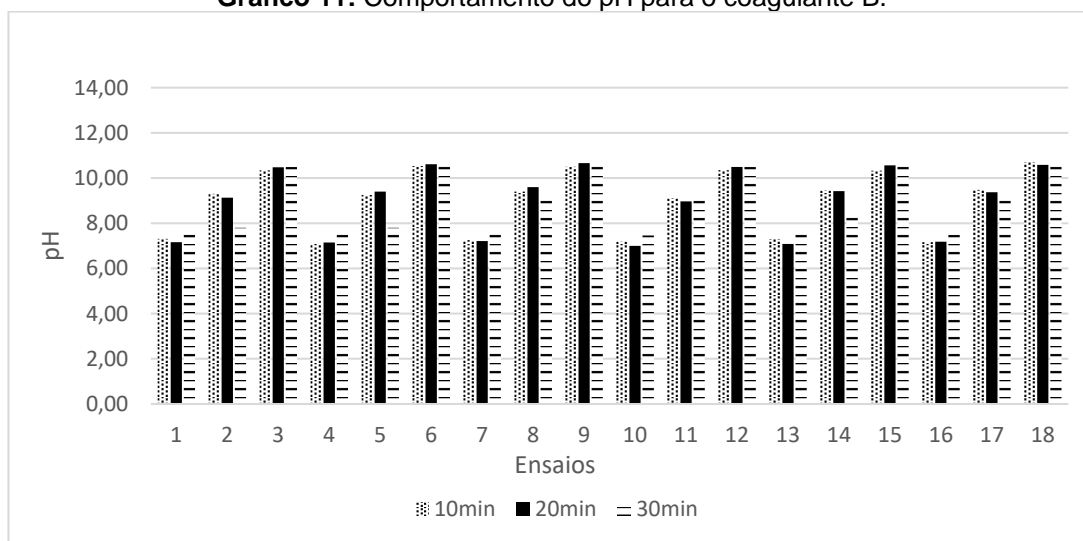
5.2.4 Comportamento do pH

Os Gráficos 10, 11 e 12 mostram o comportamento do pH, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação utilizando os coagulantes A, B e C, respectivamente, em diferentes valores de concentração e pH.

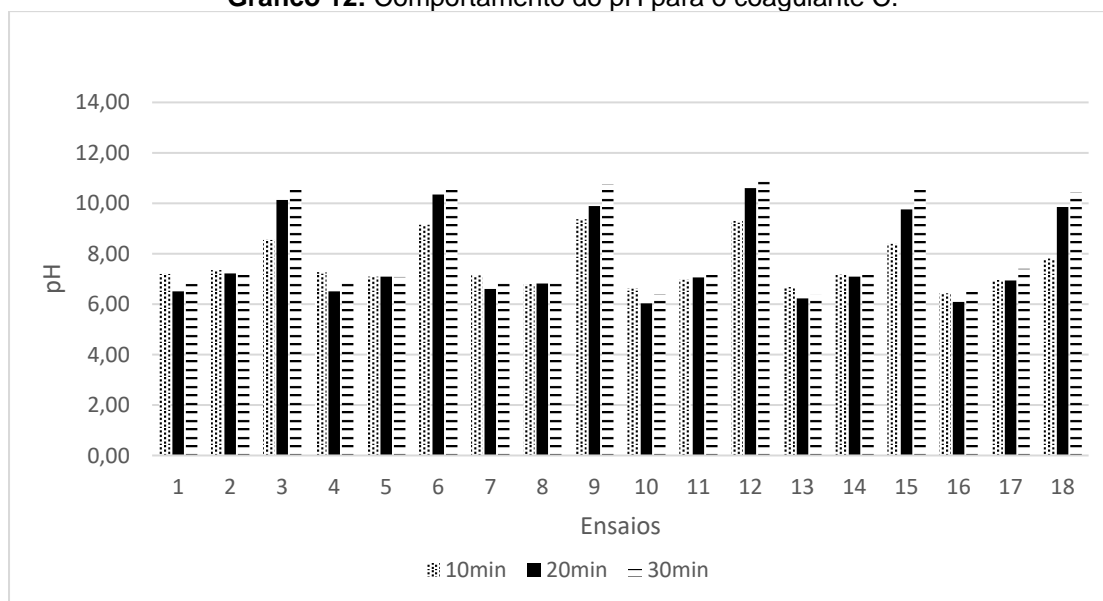
Gráfico 10: Comportamento do pH para o coagulante A.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 11: Comportamento do pH para o coagulante B.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 12: Comportamento do pH para o coagulante C.

Fonte: Autoria própria.

Por meio do Gráfico 10, verifica-se que houve pouca variação no pH nos diferentes tempos de sedimentação, mantendo praticamente o mesmo valor nos tempos 10, 20 e 30. Os ensaios ácidos, básicos e neutros se mantiveram assim após todos os experimentos e as diferentes concentrações de coagulante não tiveram nenhuma influência no pH. Conclui-se que o coagulante A não interfere no pH durante os processos de coagulação/floculação/sedimentação. Oliveira et al. (2011) e Paterniani; Montovani; Sant'anna (2009) também analisaram que o pH não

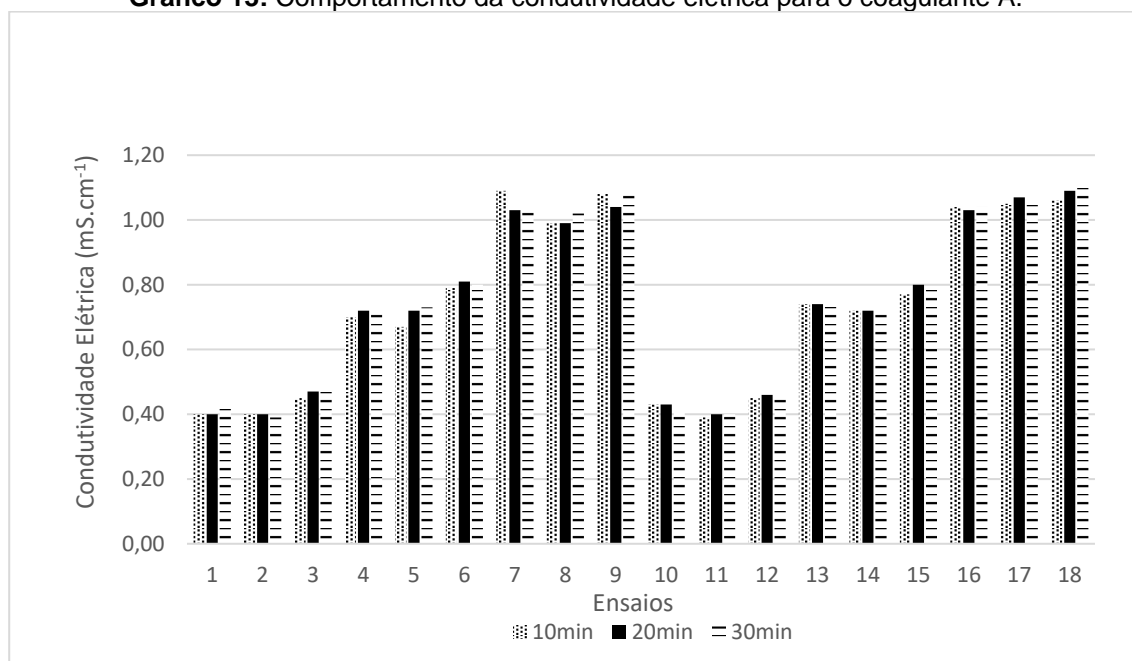
passou por variações relevantes, mostrando que o extrato da *Moringa oleifera* não interfere nas concentrações de íons H^+ e OH^- .

O Gráfico 11 mostra que não houve interferências significativas no pH nos diferentes tempos de sedimentação e nem com as diferentes concentrações do coagulante B. Em contrapartida, os ensaios ácidos (pH 3,49) se tornaram neutros (pH na faixa 7), os ensaios neutros (7,25) se tornaram básicos (pH na faixa 9) e os ensaios básicos (pH 10,20) continuaram básicos (pH na faixa 10). Melo (2017) presenciou a mesma mudança de comportamento usando o coagulante *Opuntia cochenillifera* com os ensaios ácidos que se tornaram básicos, na mesma faixa de pH. Zara et al. (2012) relata que a solução extratora utilizada pode influenciar no pH, porém não há alterações significativas no pH final da água tratada.

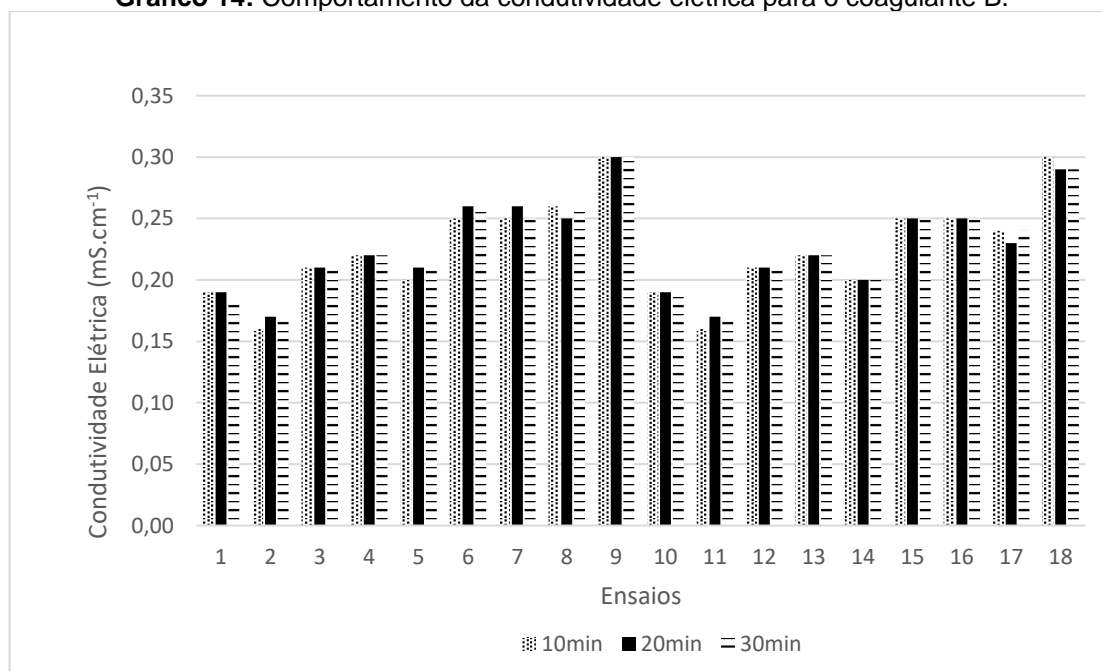
No Gráfico 12 observa-se alguns ensaios com pH variando no decorrer do tempo de sedimentação como os ensaios 18, 15, 12, 9, 6 e 3, que são os ensaios com pH (1) no planejamento experimental, ou seja, os ensaios básicos. Não há relação entre a variação de pH com as concentrações do coagulante C. Os ensaios ácidos (3,49) se tornaram neutros (na faixa de pH 6 e 7), os ensaios neutros (7,25) continuaram neutros e os ensaios básicos (10,20) tiveram uma variância de 7,81 a 10,88. Essas discrepâncias nos ensaios básicos ocorreram, pois, esses ensaios foram os últimos a serem realizados quando o eletrodo do pHmetro usado do Laboratório de Saneamento já não estava mais apresentando um bom funcionamento, mesmo após a calibragem, obtendo resultados inconsistentes.

5.2.5 Comportamento da Condutividade Elétrica

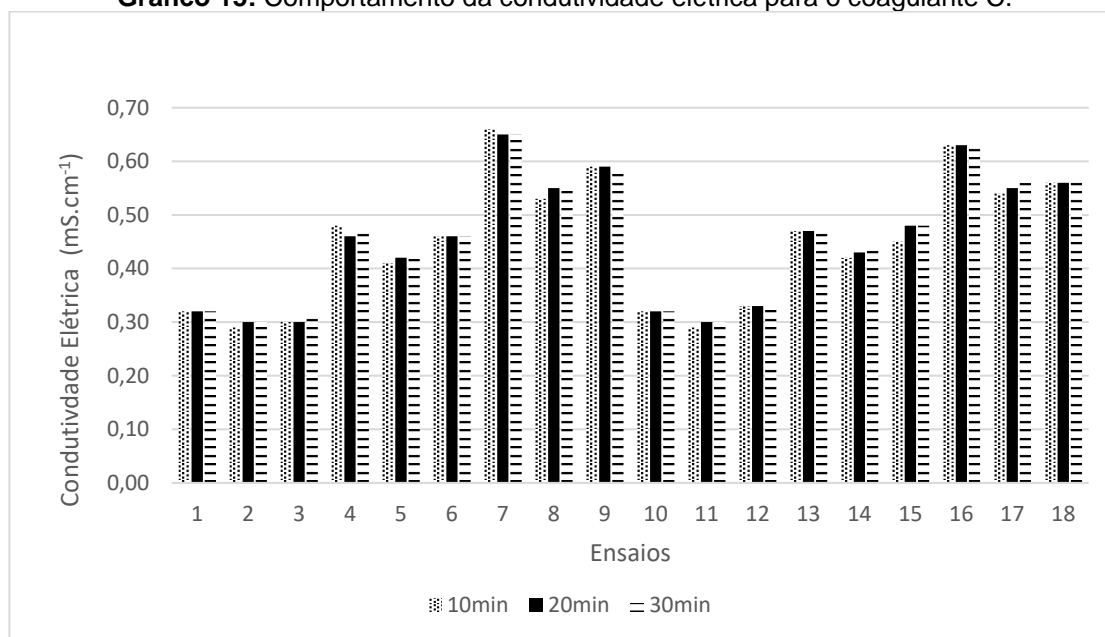
Os Gráficos 13, 14 e 15 mostram o comportamento da condutividade elétrica, após os processos de coagulação/floculação/sedimentação utilizando os coagulantes A, B e C, respectivamente, em diferentes valores de concentração e pH.

Gráfico 13: Comportamento da condutividade elétrica para o coagulante A.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 14: Comportamento da condutividade elétrica para o coagulante B.

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 15: Comportamento da condutividade elétrica para o coagulante C.

Fonte: Autoria própria.

O maior valor de condutividade do Gráfico 12 foi no ensaio 18 com 1,11 mS.cm⁻¹ (pH 10,40 e coagulante com concentração de 7,5 mg.L⁻¹). Todos os ensaios com essa mesma concentração de coagulante (que é a maior concentração utilizada nos ensaios) apresentaram maior valor de condutividade se comparado com os outros valores de outras concentrações do coagulante A, indicando que quanto maior a concentração de coagulante, maior a condutividade elétrica. Pode-se observar que todos os ensaios tiveram um aumento na condutividade elétrica comparado com o valor bruto de 0,13 mS.cm⁻¹. A explicação plausível pra isso é que pelo coagulante A conter sais e nutrientes na solução, os valores de condutividade elétrica se elevam. Não houve interferência do pH na condutividade elétrica e não houve significativa interferência do tempo de sedimentação com a condutividade.

No Gráfico 13, assim como no gráfico anterior, não houve interferência no tempo de sedimentação com a condutividade elétrica. Grande parte dos números inclusive se manteve iguais nos 3 tempos de sedimentação. Os valores de condutividade se mantiveram idênticas nas réplicas dos ensaios e as concentrações do coagulante B não tiveram significas interferências na condutividade. Os valores de pH interferiram um pouco, mostrando que os ensaios de pH básico (18, 15, 3, 12, 9 e 6) tiveram pouco, porém maior aumento na condutividade se comparado com os outros ensaios com o coagulante B. Esse comportamento pode ser explicado pela

relação entre o cacto e os sais presentes na solução extratora, aumentando a condutividade elétrica.

Analisando o Gráfico 14, também não houve interferência no tempo de sedimentação com a condutividade. Nos ensaios com pH ácido houve um leve aumento na condutividade (ensaios 4, 7, 1, 10, 16, 13). Já analisando as concentrações de coagulante, os ensaios com a maior concentração de coagulante obtiveram maior condutividade elétrica (0,53 – 0,66). O maior valor de condutividade elétrica foi 0,66 no ensaio 7 (pH de 3,49, concentração de coagulante 5,25 mg.L⁻¹ e solução extratora 3,75 mg.L⁻¹).

De acordo com Knevez (2017), coagulantes de *Moringa oleifera* com menores concentrações implicam menor condutividade, o que pode ser confirmado com o presente estudo.

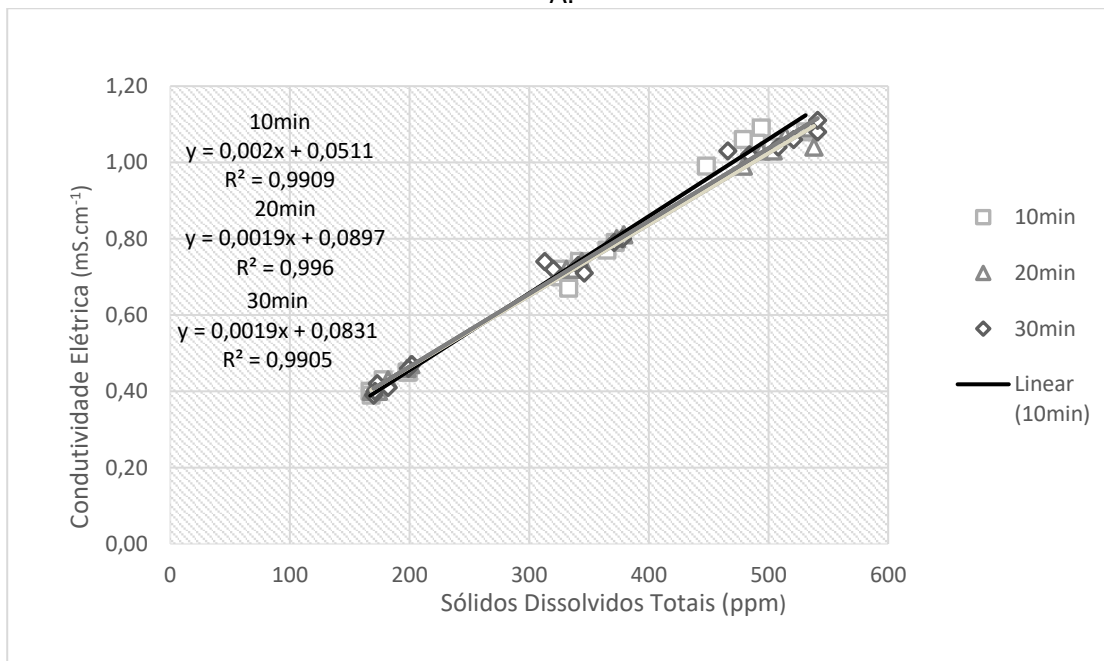
Oliveira et al. (2011) afirma que houve um aumento de 5,6% de condutividade elétrica pelo acréscimo de espécies iônicas na solução de extrato de *Moringa oleifera*.

Verbel, Martínez e Gazabón (2013) não vê nenhuma mudança significativa com a condutividade elétrica usando o cacto *Opuntia cochenillifera* o que contrasta com os resultados do presente estudo.

5.2.6. Relação entre os Sólidos Dissolvidos Totais e a Condutividade Elétrica

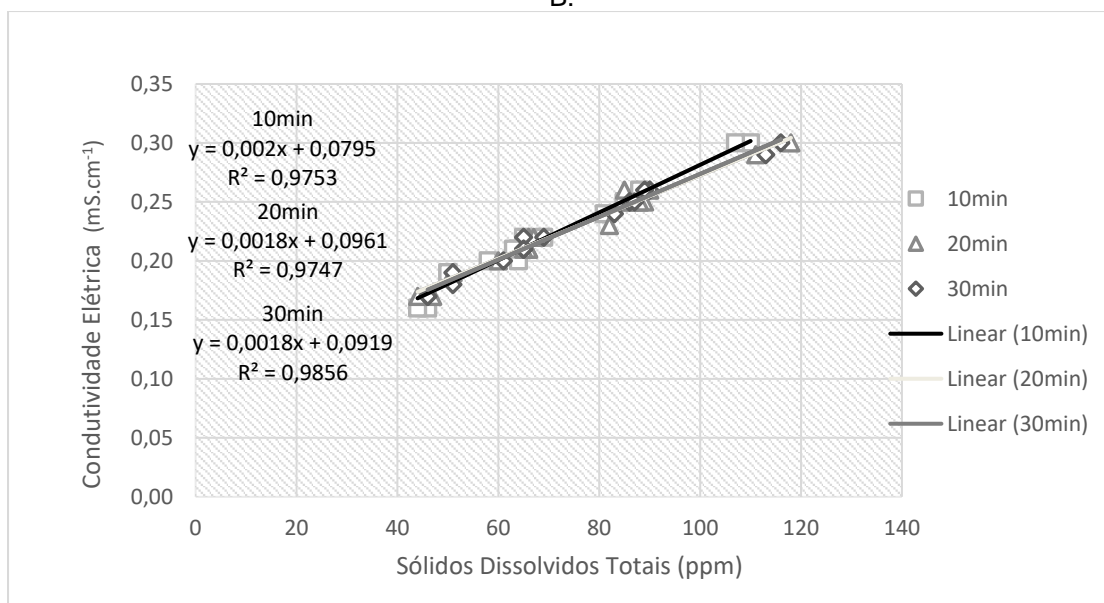
Os Gráficos 16, 17 e 18 mostram a relação da condutividade elétrica com os sólidos dissolvidos totais dos coagulantes A, B e C, respectivamente, por meio do coeficiente de determinação R².

Gráfico 16: Relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica para o coagulante A.



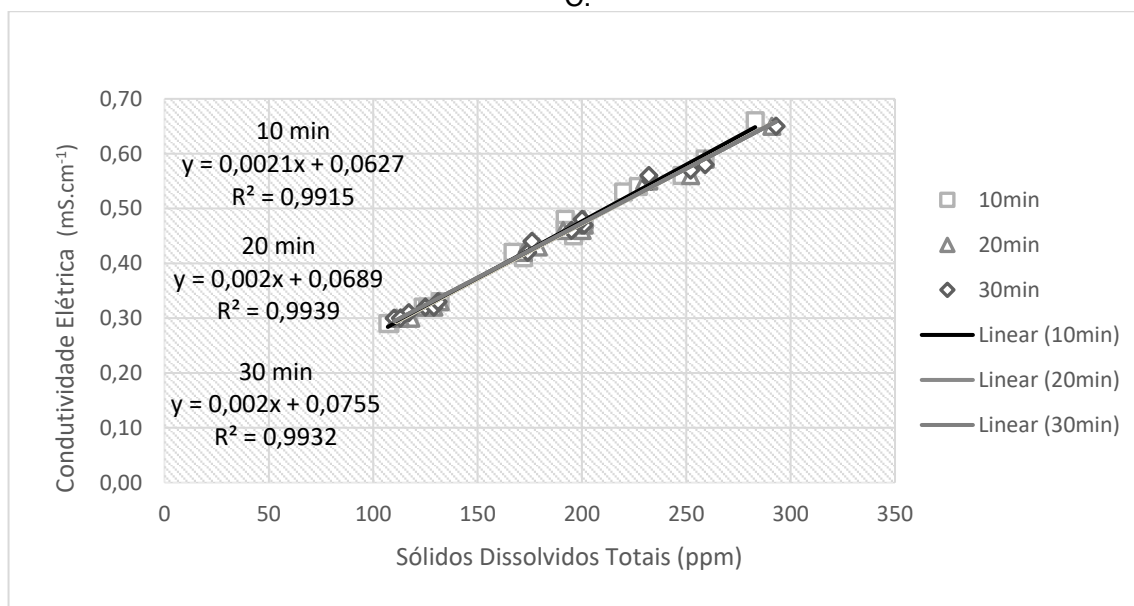
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 17: Relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica para o coagulante B.



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 18: Relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica para o coagulante C.



Fonte: Autoria própria.

Alguns autores já abordaram esse tema no tratamento de água, como Lima et al. (2012).

Por meio dos Gráficos 16, 17 e 18 observa-se que há uma grande relação entre os sólidos dissolvidos totais e a condutividade elétrica, pois os valores obtidos com o R² foram maiores que 0,97 (quanto mais perto de 1, maior a correlação entre as duas variáveis).

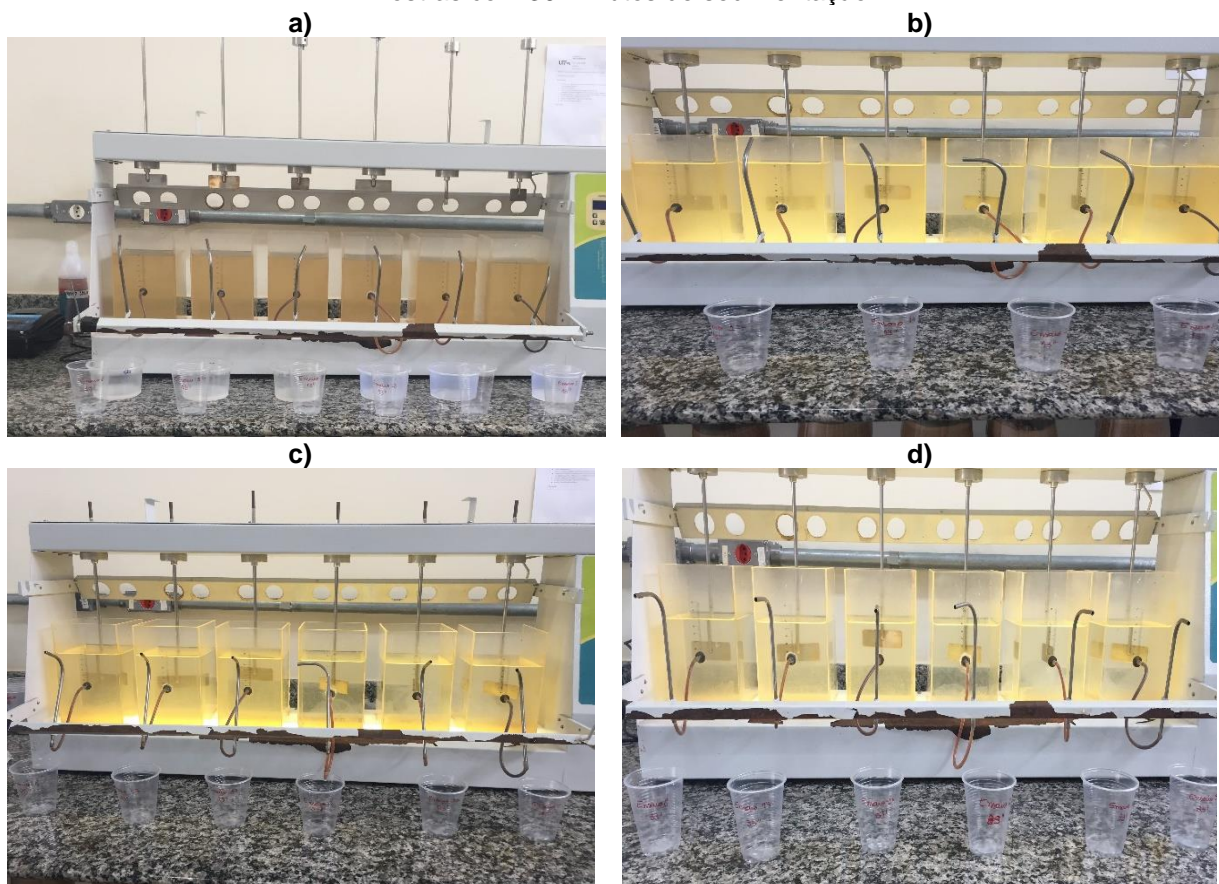
Libânio (2008) afirma que a dominação de um íon específico gera uma relação entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos.

5.3 ANÁLISE VISUAL DOS ENSAIOS

5.3.1 Coagulante A

As Figuras 12, 13 e 14, mostram os aspectos qualitativos do tratamento da amostra bruta com o uso do coagulante A em meio neutro, básico e ácido, respectivamente.

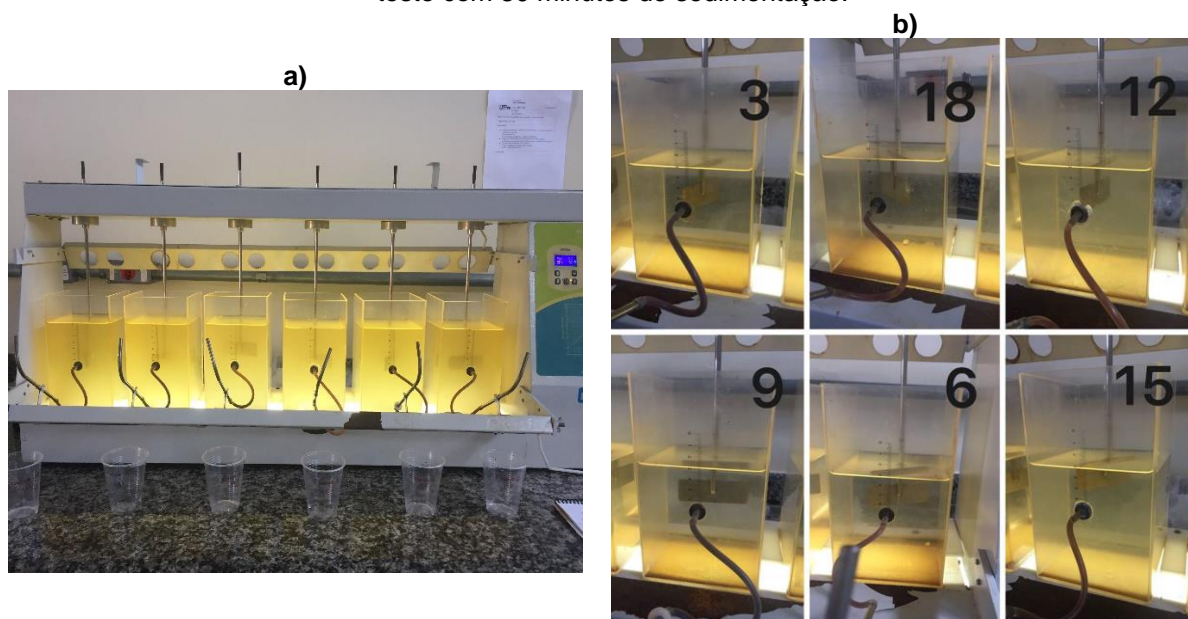
Figura 12: COAGULANTE A - NEUTRO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. **c)** Amostras com 20 minutos de sedimentação. **d)** Amostras com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

Observando a Figura 12, vê-se claramente a remoção da cor e turbidez em pH neutro, utilizando o coagulante A nos ensaios no jar teste, no qual as remoções se intensificam no decorrer do tempo de sedimentação, mostrando a eficiência de até 93% na remoção de cor e 92% na remoção de turbidez visto nos ensaios neutros (8, 17, 14, 2, 11, 5).

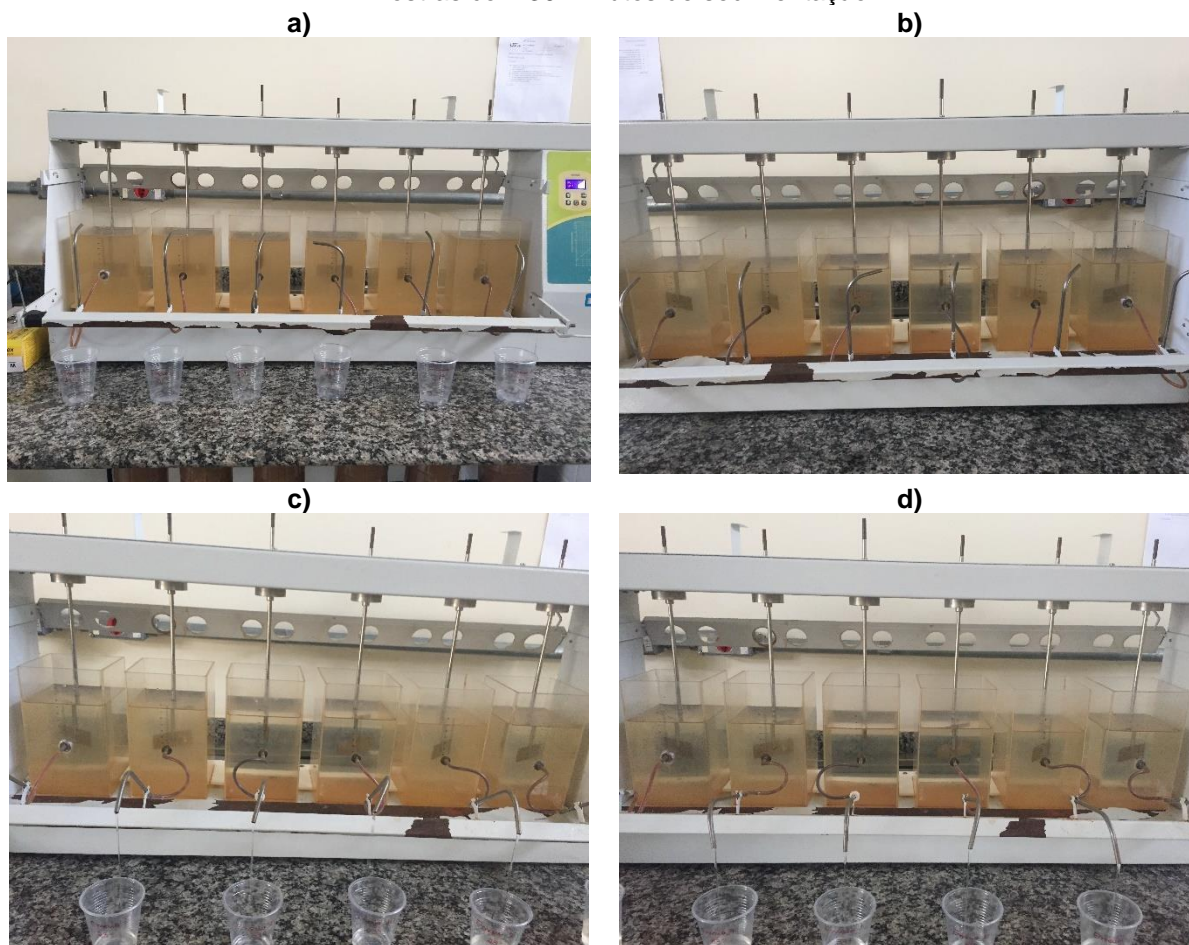
Figura 13: COAGULANTE - BÁSICO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 13, observa-se os ensaios com água bruta no jar teste e os ensaios após 30 minutos de sedimentação no jar teste com a utilização do coagulante A em pH básico. No item b da figura, pode-se ver os flocos sedimentados em todos os ensaios. Visualmente falando é difícil dizer qual ensaio teve melhor e pior clarificação, porém é possível ver grande diferença entre a foto antes e após sedimentação, mostrando boa clarificação da água, em que a remoção de cor e turbidez chegam em até 91% e 83%, respectivamente. Os ensaios básicos são 3, 18, 12, 9, 6 e 15 como visto no item b da Figura 13.

Figura 14: COAGULANTE A - ÁCIDO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. **c)** Amostras com 20 minutos de sedimentação. **d)** Amostras com 30 minutos de sedimentação.



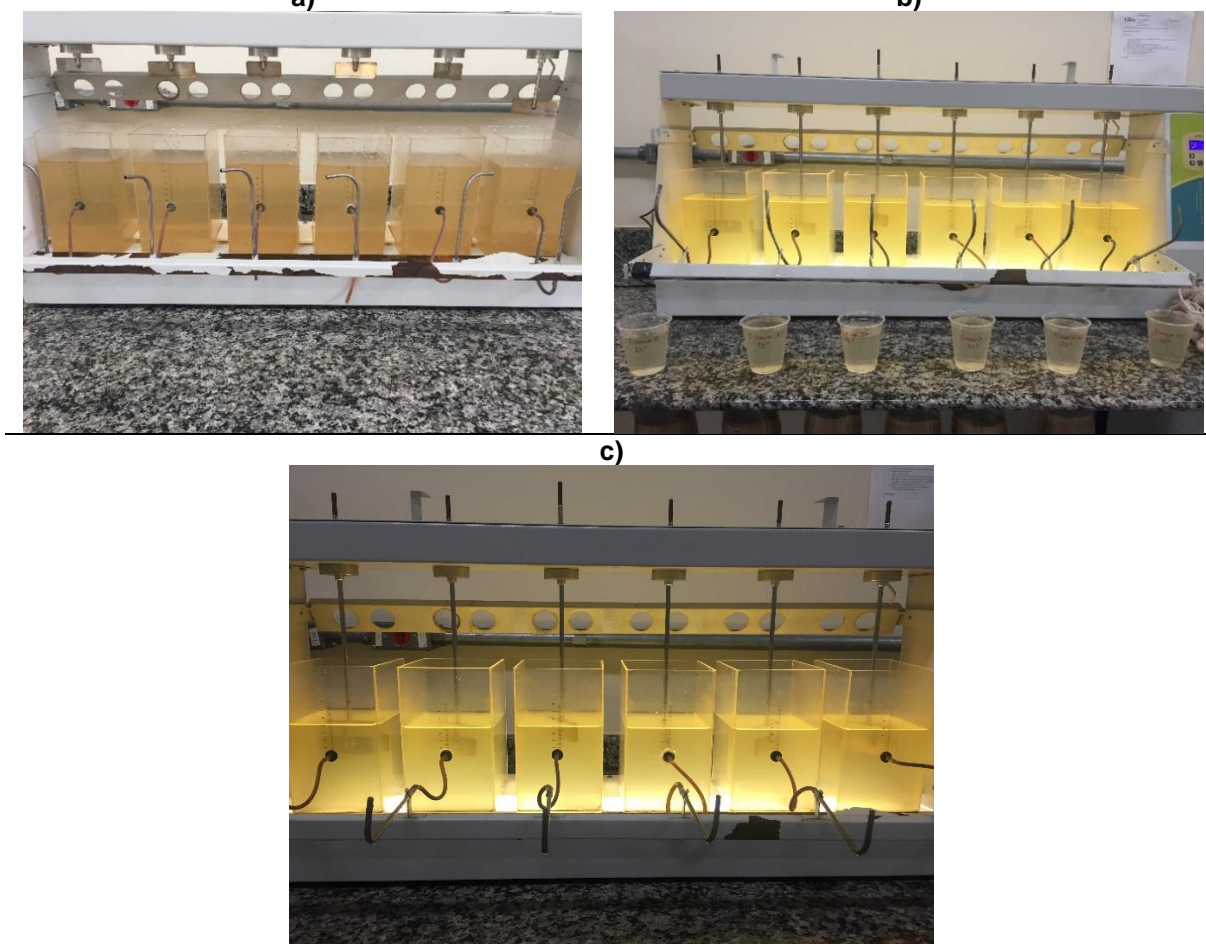
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 14 observa-se a água bruta nos ensaios no jar teste e os ensaios após cada tempo de sedimentação utilizando o coagulante A e em pH ácido. É possível observar que a cada tempo de sedimentação, a clarificação da água fica mais evidente. De acordo com itens 5.2.1 e 5.2.2, o pH ácido teve melhor remoção de cor e turbidez dentre as três faixas de pH, com até 100% de remoção de cor e 94% de remoção da turbidez (ensaios 1, 4, 7, 10, 13, 16).

5.3.2 Coagulante B

Pode observar nas Figuras 15, 16 e 17 os resultados qualitativos do tratamento da amostra bruta com o uso do coagulante B em meio neutro, meio básico e ácido, respectivamente.

Figura 15: COAGULANTE B - NEUTRO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. **c)** Amostras com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 15 observa-se os ensaios com água bruta no jar teste e os ensaios com 10 minutos e 30 minutos de sedimentação usando o coagulante B e em pH neutro. Pode-se ver que os ensaios após os 30 minutos de sedimentação ainda possuem cor e turbidez, tanto que a melhor remoção desses parâmetros foi de 62% de cor e 35% turbidez, respectivamente.

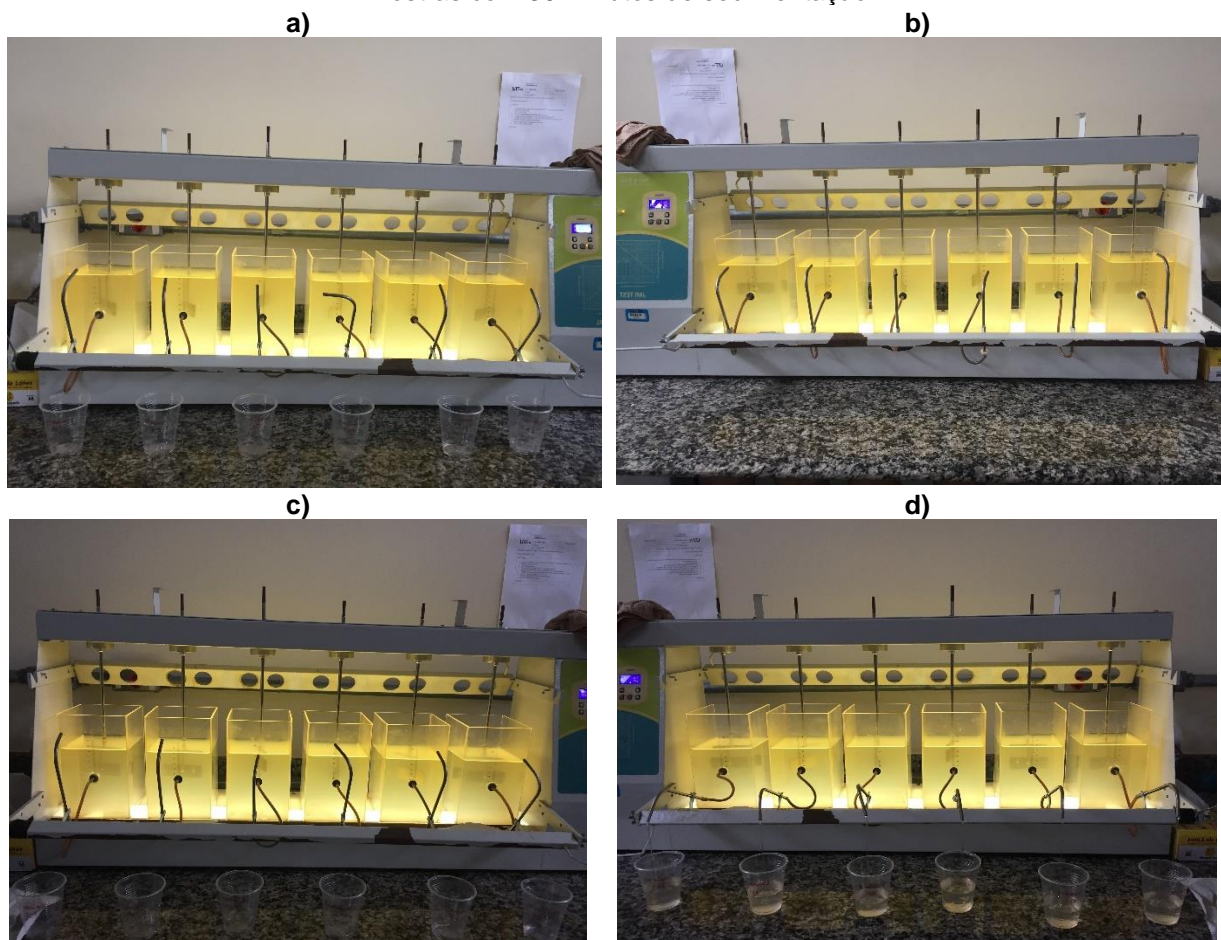
Figura 16: COAGULANTE B - BÁSICO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 16 tem-se a foto dos ensaios com água bruta no jar teste e a foto depois de 30 minutos de sedimentação usando coagulante B e com pH básico. Nessa foto aparece melhor a remoção dos parâmetros cor e turbidez da água, porém a melhor remoção desses dois parâmetros foi de 55% e 32%, respectivamente, ainda sendo remoções baixas.

Figura 17: COAGULANTE B - ÁCIDO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. **c)** Amostras com 20 minutos de sedimentação. **d)** Amostras com 30 minutos de sedimentação.



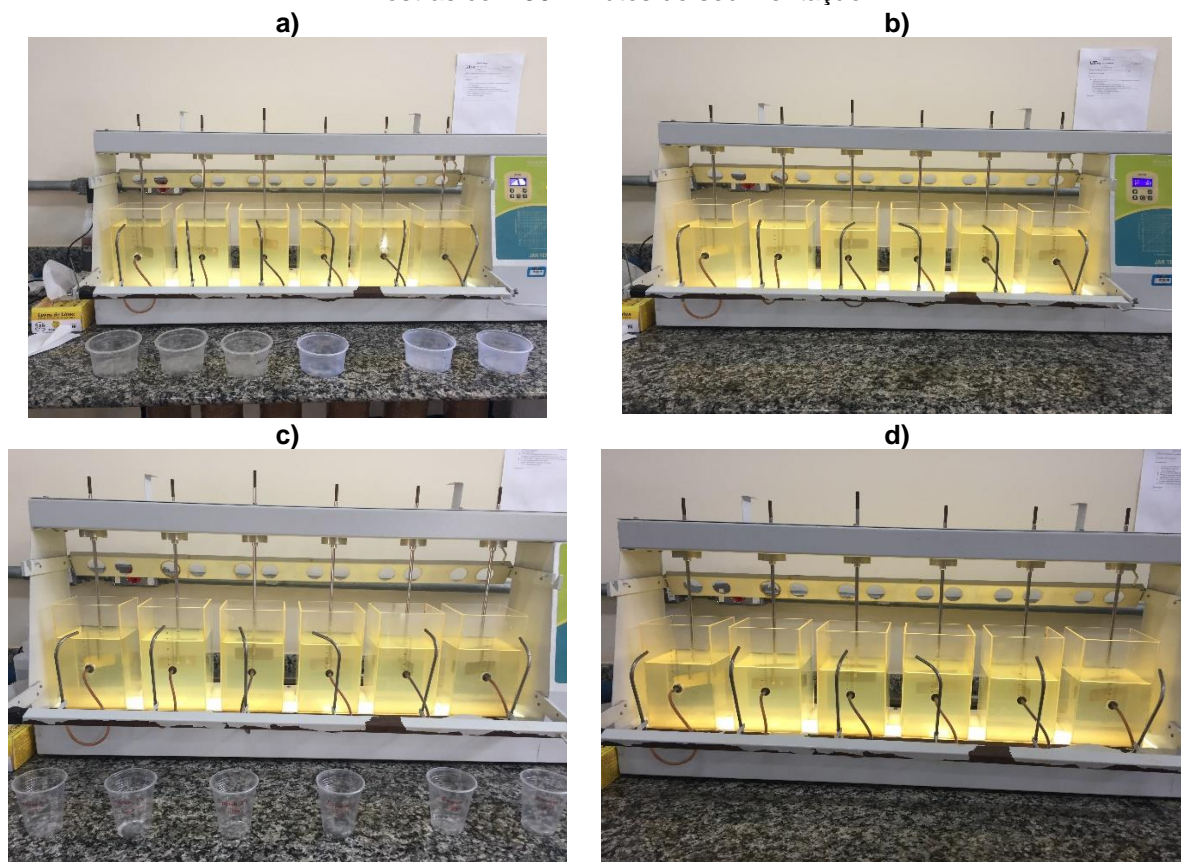
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 17 observa-se os ensaios com água bruta no jar teste e os ensaios após 10, 20 e 30 minutos de sedimentação usando o coagulante B e com pH ácido. De acordo com os itens 5.2.1 e 5.2.2, os ensaios com pH ácido tiveram maior remoção de cor e turbidez com 65% e 40%, respectivamente.

5.3.3 Coagulante C

Observa-se nas Figuras 18, 19 e 20 os resultados qualitativos do tratamento da amostra com o uso do coagulante C em meio neutro, meio básico e ácido, respectivamente.

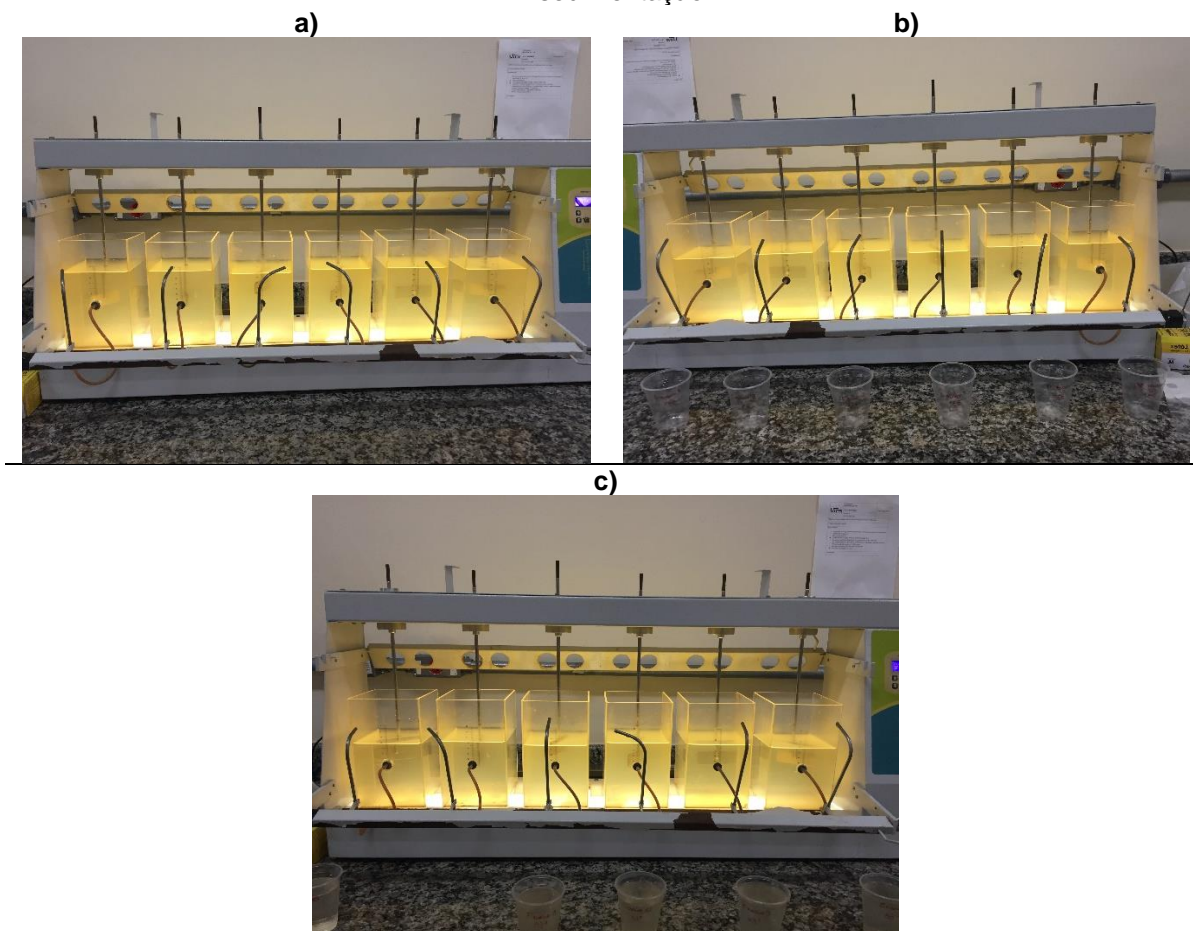
Figura 18: COAGULANTE C- NEUTRO: a) Água bruta (antes do jar teste). **b)** Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. **c)** Amostras com 20 minutos de sedimentação. **d)** Amostras com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 18 mostra os ensaios com água bruta no jar teste e os ensaios após 10, 20 e 30 minutos de sedimentação usando o coagulante C e em pH neutro. Pelas imagens não é possível ver muita diferença na clarificação da água, porém, a remoção de turbidez máxima foi de 64% e a remoção de cor máxima foi de 82%.

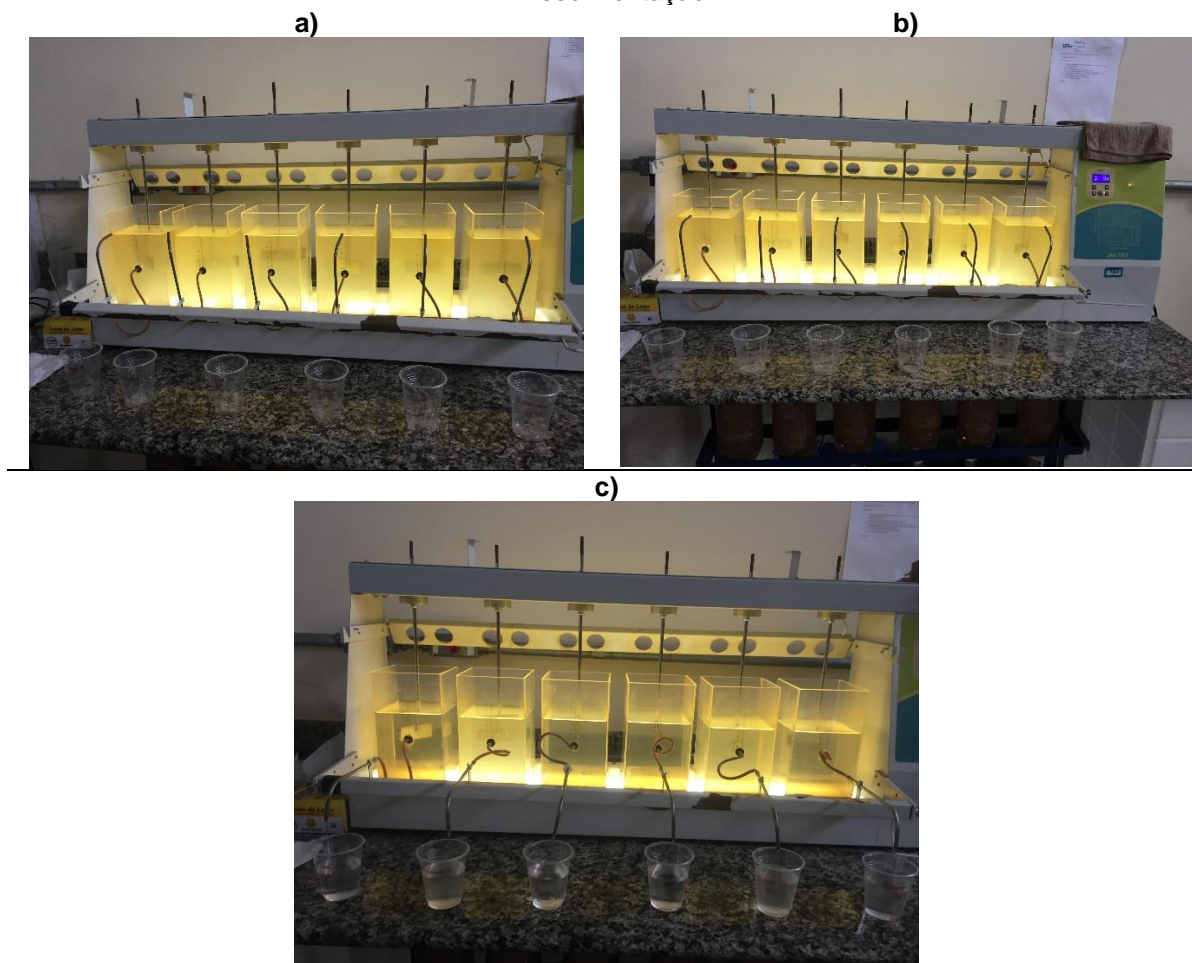
Figura 19: COAGULANTE C - BÁSICO: a) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. b) Amostras com 20 minutos de sedimentação. c) Amostras com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 19, observa-se as imagens dos ensaios o após jar teste e depois de 10, 20 e 30 minutos de sedimentação usando o coagulante C e em pH básico. A remoção de cor chegou a 76% e a remoção de turbidez chegou a 50%, mesmo que, olhando as imagens, não se percebe mudanças significativas.

Figura 20: COAGULANTE C - ÁCIDO: a) Amostras depois do jar teste e com 10 minutos de sedimentação. b) Amostras com 20 minutos de sedimentação. c) Amostras com 30 minutos de sedimentação.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 20 observa-se os ensaios no jar teste após 10, 20 e 30 minutos de sedimentação usando o coagulante C e em pH ácido. Pode-se observar que na imagem do item c observa-se melhor clarificação em que a remoção da turbidez chega a 93% e a remoção de cor chega a 96%.

5.4 ANÁLISE DO PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO

As análises estatísticas foram realizadas usando o software Statistica 7.0 onde foram feitas análises fatoriais e análise multivariável, analisando todas as variáveis separadamente e seguindo o planejamento experimental descrito na metodologia no item 4.11.

5.4.1 Coagulante A

Na Figura 21 é mostrado o teste de significância de Wilks para o coagulante A após a coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 21: Teste de significância (Wilks) para o coagulante A após a coagulação/floculação/sedimentação.

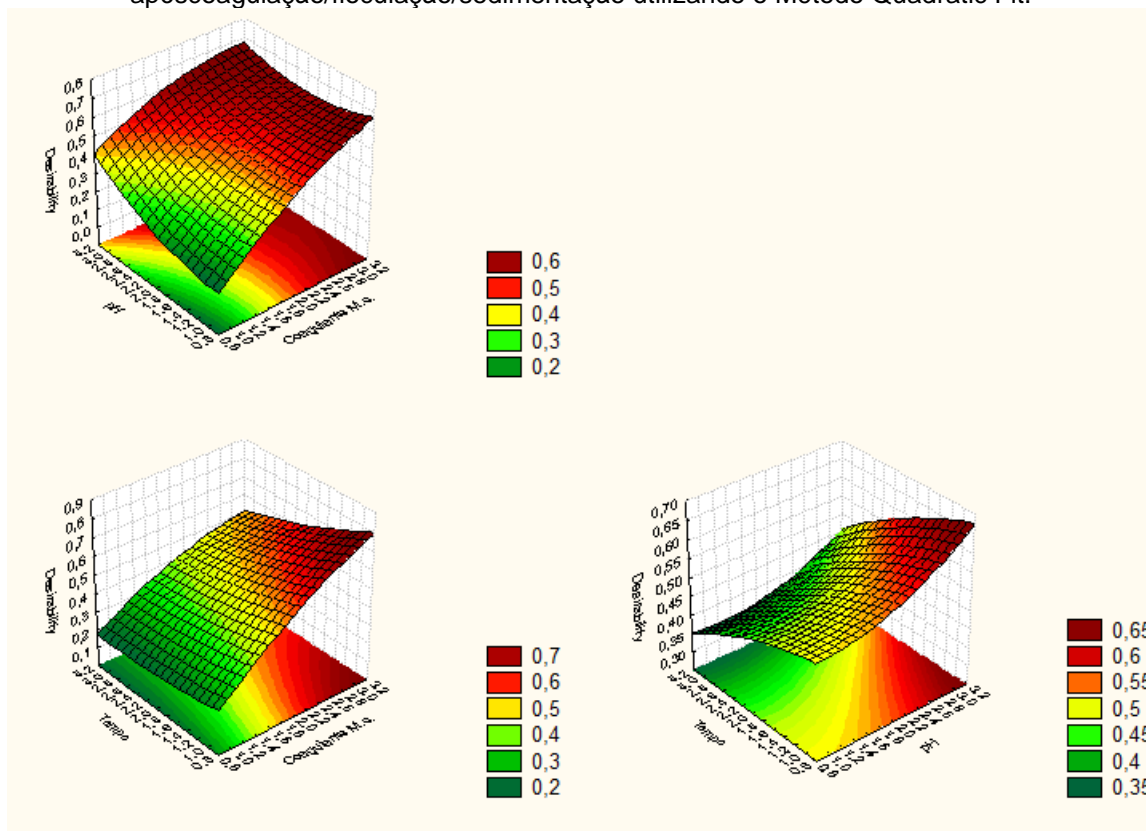
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000156	29527,97	5	23,0000	0,000000
Coagulante M.o.	Wilks	0,002579	85,98	10	46,0000	0,000000
pH	Wilks	0,000760	162,26	10	46,0000	0,000000
Tempo	Wilks	0,033376	20,58	10	46,0000	0,000000
Coagulante M.o.*pH	Wilks	0,042968	6,11	20	77,2322	0,000000
Coagulante M.o.*Tempo	Wilks	0,128795	3,30	20	77,2322	0,000085
pH*Tempo	Wilks	0,155067	2,91	20	77,2322	0,000410
Coagulante M.o.*pH*Tempo	Wilks	0,333904	0,74	40	103,0492	0,861561

Fonte: Statistica 7.0.

Na Figura 21 observa-se os resultados para o teste estatístico de Wilks com um nível de significância de 5%. Esse teste tem em vista verificar a significância entre as variáveis e relação entre elas. Os valores de “p” retratam esse nível de significância e todos esses valores que forem menores que 0,05, mostra que a variável analisada ou a relação entre as variáveis analisadas são significativas. A Figura 21 mostra que as variáveis concentração do coagulante, pH, tempo de sedimentação e as interações dessas variáveis entre si possuem valores de “p” menores que 0,05, sendo valores relevantes e significativos (<0,05). A exceção com valor de “p” maior que 0,05 é a interação entre as variáveis concentração de coagulante, pH e tempo de sedimentação que apresenta “p” de 0,861561.

A Figura 22 apresenta os gráficos de superfície de resposta para o coagulante A utilizando o método Quadratic Fit do software Statistica após coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 22: Gráficos de superfície de resposta para o coagulante A após coagulação/floculação/sedimentação utilizando o Método Quadratic Fit.



Fonte: Statistica 7.0.

A Figura 22 exibe três gráficos de superfície em que a relação das variáveis se encontra nos eixos x e y enquanto que no eixo z é exibido a desejabilidade, isto é, mostra quão importantes são os dados entre as interações das variáveis para conseguir os resultados esperados. Na Figura 22 observa-se três gráficos mostrando a interação entre o coagulante A, pH e tempo, com valores de “p” menores que 0,5.

O primeiro gráfico da Figura 22 exibe a interação entre o pH (eixo y), a concentração do coagulante A (eixo x) e a desejabilidade (eixo z). O segundo gráfico apresenta a interação entre tempo (eixo y), concentração do coagulante A (eixo x) e desejabilidade (eixo z). E por último, o terceiro gráfico com tempo (eixo y), pH (eixo x) e desejabilidade (eixo z). As partes dos gráficos mais escuras no vermelho mostram a melhor desejabilidade, ou seja, onde ficam as melhores interações.

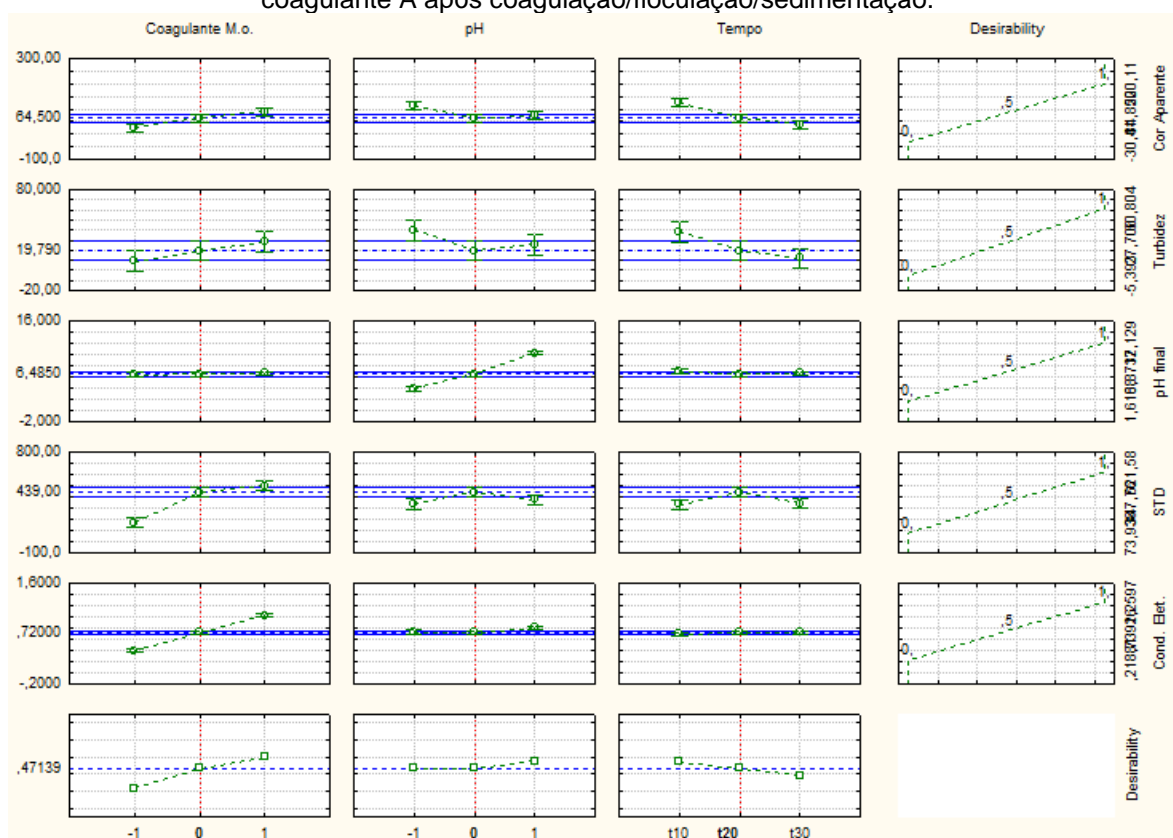
Pode-se ver que no primeiro gráfico, a superfície se encaminha para valores mais altos quando as concentrações de coagulante vão aumentando. Já para o pH, os valores de desejabilidade um pouco mais altos se encontram no pH básico.

No segundo gráfico, a desejabilidade se encaminha para valores mais altos quando as concentrações de coagulante aumentam. Em relação ao tempo de sedimentação, os valores de desejabilidade são baixos para toda a faixa do mesmo, mostrando que a variação de concentração do coagulante A não tem relação com o tempo de sedimentação.

Pelo terceiro gráfico, observa-se que a desejabilidade aumenta para valores mais altos de pH (pH tendendo ao básico) porém ainda assim, cobre uma boa parte de pH. Para valores menores de tempo de sedimentação a desejabilidade também aumenta.

A Figura 23 mostra os gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros analisados para o coagulante A após coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 23: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o coagulante A após coagulação/floculação/sedimentação.



Fonte: Statistica 7.0.

Pela Figura 23, vê-se os perfis estatísticos que mostram os pontos onde se encontram os melhores valores para cada variável se analisadas isoladamente.

Analisando a Figura 23, o ponto desejado da variável concentração foi atingido com a dosagem codificada 0 (5 mg.L⁻¹). Para a variável pH, o ponto desejado foi atingido no valor codificado 0 (7,25) e para a variável tempo, o tempo de 20 minutos de sedimentação foi considerado o ponto desejado.

Belisário (2017) atingiu o ponto desejado da variável concentração com a dosagem codificada 0 (6 mg.L⁻¹) e o ponto desejado da variável pH também foi com o pH neutro, com o valor codificado 0 (6,8).

5.4.2 Coagulante B

Na Figura 24 é mostrado o teste de significância de Wilks para o coagulante B após a coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 24: Teste de significância (Wilks) para o coagulante B após a coagulação/floculação/sedimentação.

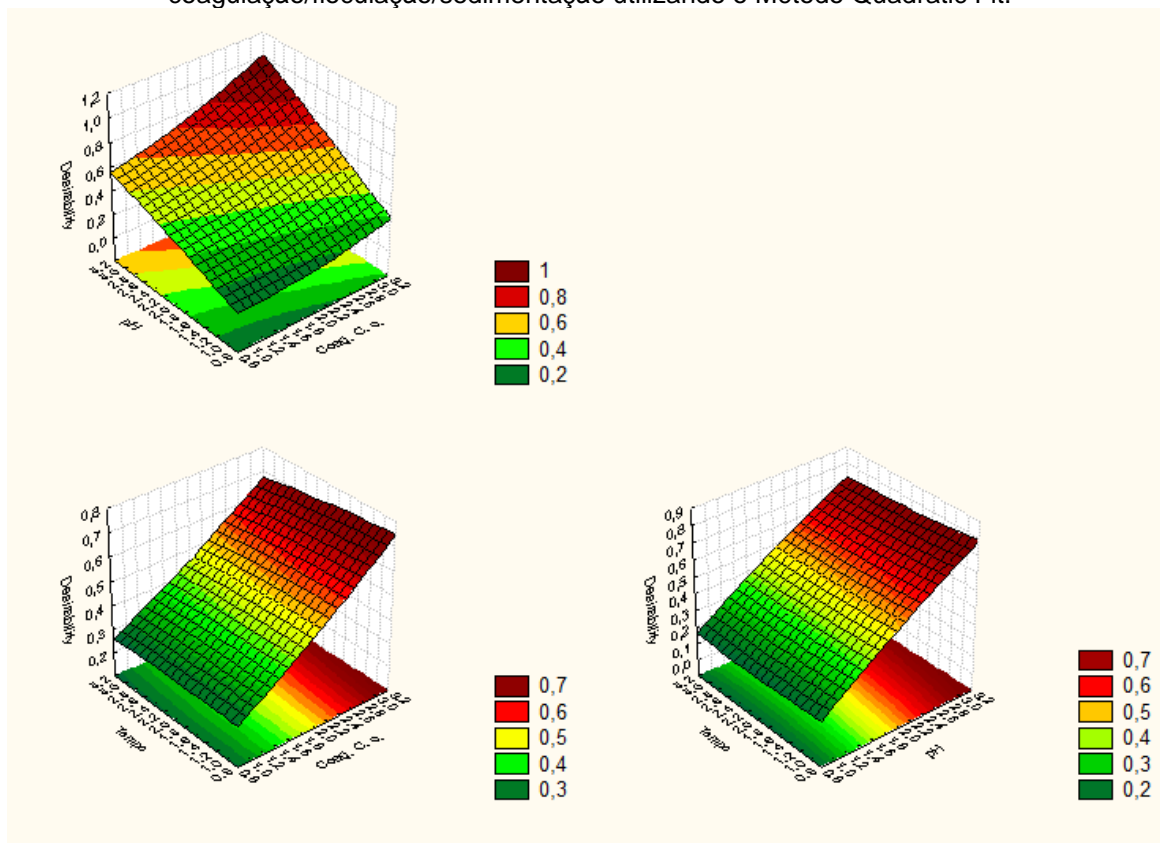
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000079	58509,49	5	23,0000	0,000000
Coag. C. o.	Wilks	0,010381	40,55	10	46,0000	0,000000
pH	Wilks	0,000493	202,67	10	46,0000	0,000000
Tempo	Wilks	0,476375	2,06	10	46,0000	0,047633
Coag. C. o.*pH	Wilks	0,078454	4,46	20	77,2322	0,000001
Coag. C. o.*Tempo	Wilks	0,610139	0,62	20	77,2322	0,885777
pH*Tempo	Wilks	0,173776	2,68	20	77,2322	0,001040
Coag. C. o.*pH*Tempo	Wilks	0,274137	0,89	40	103,0492	0,653870

Fonte: Statistica 7.0

Observa-se na Figura 24, os valores de “p” menores que 0,5 foram obtidos pelas variáveis concentração de coagulante, pH, tempo e a interação entre elas, com exceção da interação entre a concentração do coagulante com o pH e com o tempo de sedimentação com “p” de 0,653870 (>0,5).

A Figura 25 apresenta os gráficos de superfície de resposta para o coagulante B utilizando o método Quadratic Fit do software Statistica após coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 25: Gráficos de superfície de resposta para o coagulante B após a coagulação/floculação/sedimentação utilizando o Método Quadratic Fit.



Fonte: Statistica 7.0

O primeiro gráfico na Figura 25 mostra a interação entre o pH (eixo y), a concentração do coagulante B (eixo x) e a desejabilidade (eixo z). O segundo gráfico mostra a interação entre o tempo (eixo y), concentração do coagulante B (eixo x) e desejabilidade (eixo z). E o terceiro e último gráfico mostra a interação entre o tempo (eixo y), pH (eixo x) e desejabilidade (eixo z).

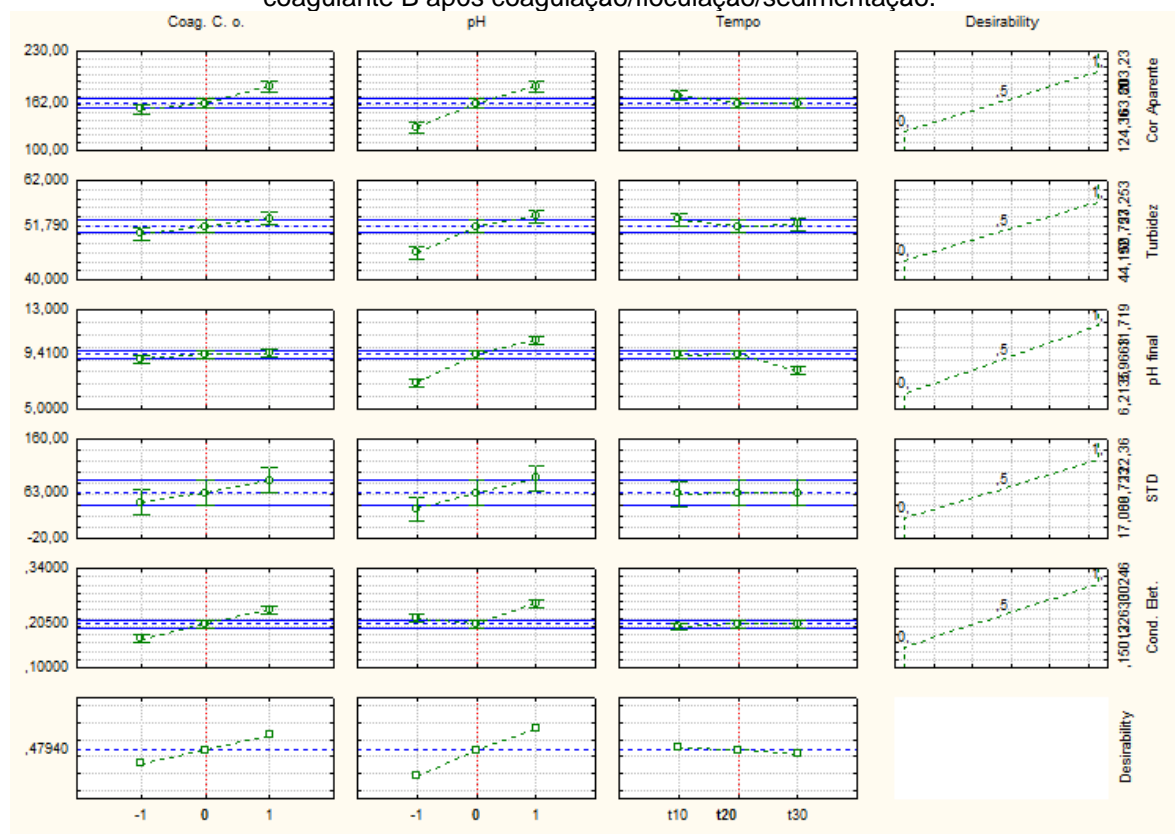
O primeiro gráfico mostra que a desejabilidade aumenta para valores maiores de concentração de coagulante e para pH básicos.

No segundo gráfico pode-se observar que a desejabilidade tende a aumentar para concentrações de coagulante maiores e permanece baixa para todos os tempos de sedimentação, mostrando que este não interfere na concentração de coagulante.

Pelo terceiro gráfico nota-se que pH básicos possuem maior desejabilidade enquanto que a desejabilidade para o tempo de sedimentação permanece baixa para todo o intervalo de tempo. Conclui-se então que a variação de pH não tem relação com o tempo de sedimentação.

A Figura 26 mostra os gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros analisados para o coagulante B após coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 26: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o coagulante B após coagulação/floculação/sedimentação.



Fonte: Statistica 7.0.

De acordo com a Figura 26, o ponto desejado da variável concentração foi atingido pela dosagem codificada 0 (7 mg.L^{-1}), a variável pH alcançou o ponto desejado no valor codificado 0 (7,25) e o tempo desejado foi de 20 minutos de sedimentação.

Melo (2017) teve o ponto desejado da variável concentração atingido pela dosagem codificada 0 (14 mg.L^{-1}) e a variável pH pelo valor codificado 0 (6,45) utilizando o coagulante cacto Mandacaru.

5.4.3 Coagulante C

Na Figura 27 é mostrado o teste de significância de Wilks para o coagulante C após a coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 27: Teste de significância (Wilks) para o coagulante C após a coagulação/floculação/sedimentação.

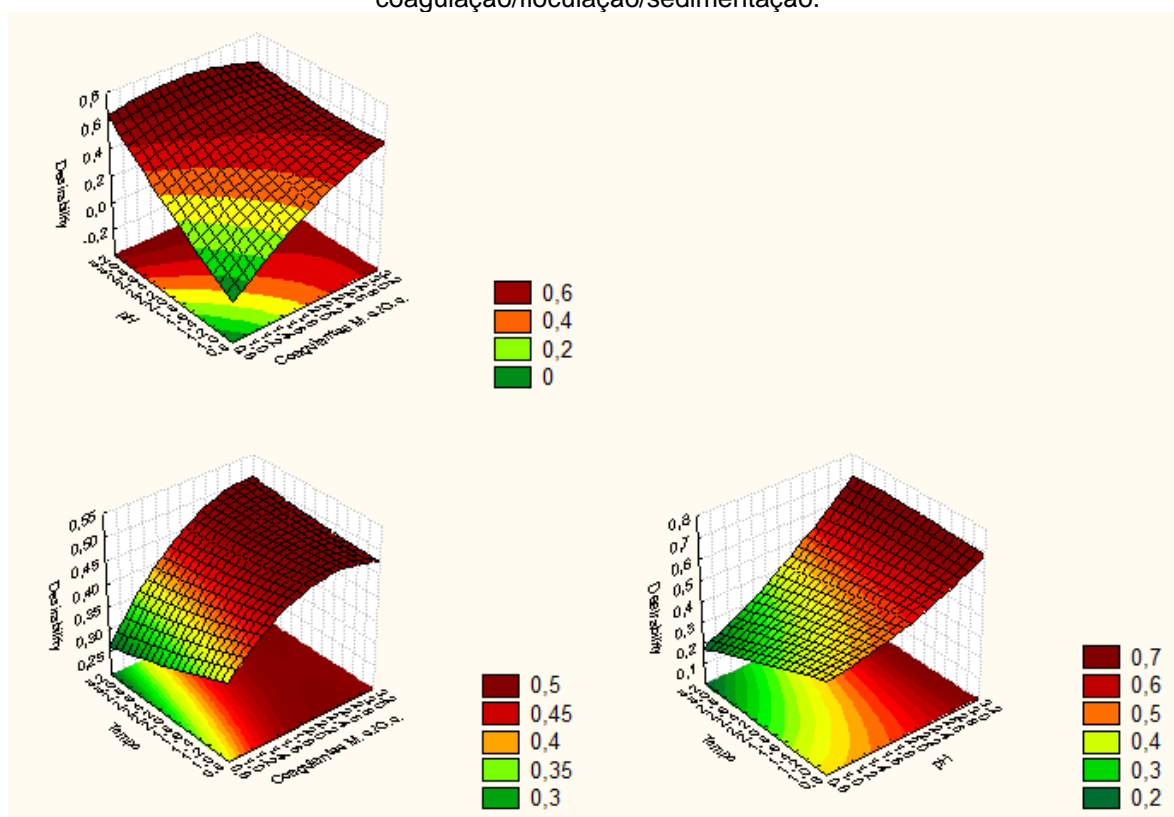
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0,000332	13856,58	5	23,0000	0,000000
Coagulantes M.o./O.c.	Wilks	0,002033	97,42	10	46,0000	0,000000
pH	Wilks	0,001920	100,39	10	46,0000	0,000000
Tempo	Wilks	0,160023	6,90	10	46,0000	0,000002
Coagulantes M.o./O.c.*pH	Wilks	0,039380	6,38	20	77,2322	0,000000
Coagulantes M.o./O.c.*Tempo	Wilks	0,311786	1,63	20	77,2322	0,067594
pH*Tempo	Wilks	0,113677	3,58	20	77,2322	0,000028
Coagulantes M.o./O.c.*pH*Tempo	Wilks	0,536931	0,40	40	103,0492	0,999339

Fonte: Statistica 7.0.

Na Figura 27 observa-se que os valores de “p” menores que 0,05 são para as variáveis concentração de coagulante, pH, tempo de sedimentação e a interação entre o pH e o tempo de sedimentação, sendo apenas esses os fatores que apresentam diferenciação relevante (maior que 5%).

A Figura 28 apresenta os gráficos de superfície de resposta para o coagulante C utilizando o método Quadratic Fit do software Statistica após coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 28: Gráficos de superfície de resposta para o coagulante C após coagulação/floculação/sedimentação.



Fonte: Statistica 7.0

Através da Figura 28, pode-se ver os três gráficos de superfície que mostram a relação entre as variáveis que apresentaram significância menor que 5%. O primeiro gráfico mostra a interação entre o pH (eixo y), a concentração do coagulante C (eixo x) e a desejabilidade (eixo z). O segundo gráfico mostra a interação entre o tempo (eixo y), concentração do coagulante C (eixo x) e desejabilidade (eixo z). E o terceiro e último gráfico mostra a interação entre o tempo (eixo y), pH (eixo x) e desejabilidade (eixo z).

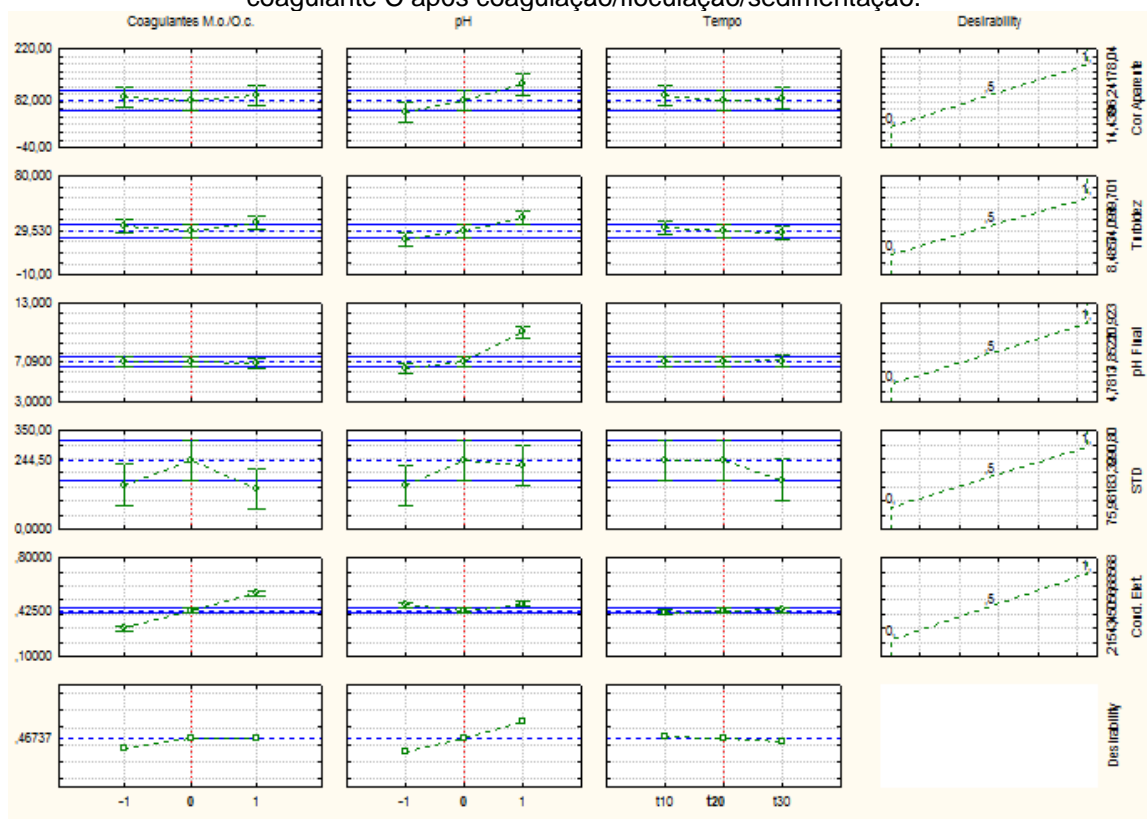
O primeiro gráfico mostra que a desejabilidade aumenta para valores maiores de concentração de coagulante e para pH básicos.

No segundo gráfico pode-se observar que a desejabilidade é grande para quase todas as concentrações de coagulante, porém possui seu maior pico nas maiores concentrações. Já o tempo de sedimentação possui sua maior desejabilidade nos menores tempos.

Pelo terceiro gráfico nota-se que pH básicos possuem maior desejabilidade, ainda assim, possuem uma faixa de pH ampla com desejabilidade alta. A desejabilidade é um pouco mais alta para tempos menores de sedimentação.

A Figura 29 mostra os gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros analisados para o coagulante C após coagulação/floculação/sedimentação.

Figura 29: Gráficos de variáveis independentes e sua interação com os parâmetros avaliados para o coagulante C após coagulação/floculação/sedimentação.



Fonte: Statistica 7.0.

Na Figura 29, tem-se os perfis estatísticos que mostram que o ponto desejado para a variável concentração codificada em 0 (6mg.L^{-1}) e o ponto desejado para a variável pH também é 0 (7,25) para o tempo de sedimentação de 20 minutos.

É importante observar que os resultados das análises estatísticas para os três coagulantes diferem com as análises feitas separadamente de cada parâmetro pois o software Statistica analisa todos os parâmetros de uma vez enquanto que os outros resultados analisam os parâmetros separadamente.

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados no presente trabalho, dentre os dois coagulantes estudados (coagulante orgânico advindo da semente da *Moringa oleifera* em solução salina NaCl 1M e coagulante orgânico advindo do polímero do cacto *Opuntia cochenillifera*) separadamente e em associação, constatou-se que a *Moringa oleifera* é mais eficiente dos três coagulantes. O cacto *Opuntia cochenillifera* mostrou-se com desempenho reduzido, e o dois coagulantes em associação é o segundo coagulante mais eficiente dos três estudados.

Conclui-se então que a *Moringa oleifera* empregada numa solução salina como coagulante orgânico pode ser tida como uma opção favorável e eficaz para o tratamento de água para abastecimento de uma forma mais sustentável.

Para o cacto *Opuntia cochenillifera* juntamente com a solução extratora empregada, essa opção pode ser tida como uma opção que tem potencial, mas ainda deve ser mais estudada, procurando soluções extratoras mais eficientes e trabalhando com diferentes dosagens do coagulante para obter uma melhor remoção da cor e da turbidez.

Sobre a eficácia da associação desses dois coagulantes para os processos de coagulação/floculação/sedimentação, conclui-se que essa opção, mesmo tendo excelentes remoções de cor e turbidez, não é viável, pois nessa associação, a *Moringa oleifera* foi a principal responsável pelos altos índices de remoção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIN, M. M. A Amazônia na geopolítica mundial dos recursos estratégicos do século XXI. **Revista Crítica de Ciências Sociais**. Coimbra, Portugal. N. 7; 2015.

ALMEIDA, J. C. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água na lagoa dos Patos**. 2013. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ANDRADE, N.A.S. **Coagulantes de palmas forrageiras e os efeitos na turbidez e potencial hidrogeniônico em tratamento de águas**. 2018. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a ed. Washington, 2012.

BATISTA, R. O. et al. Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de água superficial no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.9, N.16; 2013.

BELBAHLOUL, M.; ZOUHRI, A.; ANOUAR, A. Biofloculants extraction from Cactaceae and their application in treatment of water and wastewater. **Journal Of Water Process Engineering**, [s.l.], v. 7, p.306-313, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.07.002>.

BELISÁRIO JUNIOR, J. C. **Uso da semente da Moringa oleifera no tratamento de água em corpos lênticos - Estudo de caso: Lago Igapó II**. 2016. 78f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina.

BOTERO, W. G. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola**. 2008. 97 p. Dissertação (Pós-Graduação em Química) – Instituto de Química UNESP – Araraquara, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília. Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA Nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 10. Out. 2017.

CAMACHO, F. P.; SOUZA, V. S.; BERGAMASCO, R.; TEIXEIRA, M. R. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 313, p.226-237, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>.

CARDOSO, K. C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 30, n. 2, p.193-198, 20 out. 2008. Universidade Estadual de Maringá.
<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>.

CARMO, S. N. C. **Extração seletiva de Mn (II) utilizando sementes de Moringa oleifera como bioadsorvente**. 2014. 58f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Química – Instituto de Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CLAUDINO, C. R. **Avaliação da eficiência na remoção de ferro e manganês em estação de tratamento de água pelo método de flotação por ar disperso. Estudo de caso: ETA da comunidade praia paraíso, torres, RS**. Criciúma. 2009.

CORAL, L. A; BERGAMASCO, R; BASSETTI, F. J. **Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo**. In: International Workshop: Advances in Cleaner Production, 2009, São Paulo. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20B%20asseti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>> Acesso em: 15 mai. 2017.

DI BERNARDO, L. **Algas e suas Influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1995. 127p.

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

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. 1ª ed. v. 5. 2008. Série Escola Piloto de Engenharia Química.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011.

FERREIRA, T. G. **Avaliação do desempenho de cactos da espécie opuntia ficus-indica como coagulante no tratamento de água**. 2015. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Tecnologia em Processos Ambientais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

FRANCO, M. **Uso de coagulante extraído de sementes de Moringa oleifera como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas -Faculdade de Engenharia Agrícola. 109p. 2010.

GOES, H. et al. ESTUDO DA APLICAÇÃO DO CACTO *Opuntia cochenillifera* NO TRATAMENTO DE ÁGUA. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 14, n. 25, p.554-563, 20 jun. 2017. Centro Científico Conhecer. http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2017a50.

HAKENKAMP, C.C.; MORIN, A. The importance of meiofauna to lotic ecosystem functioning. **Freshwater biology**. v. 44, pp.165-175. 2001.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

HIGASHI, Y. V. **Uso de Coagulantes Químico e Orgânico no Tratamento de Águas Provenientes de Sistema Lêntico**. Estudo de caso: Lago Igapó II. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

JIMÉNEZ, J.; VARGAS, M.; QUIRÓZ N. Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. **Tecnología en Marcha**, vol. 25, no. 4, pp. 55-62, 2012.

KAWAMURA, S, 2000. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities**. 2ª ed., John Wiley & Sons, Inc.

KNEVITZ, L. A. **Avaliação da eficiência de remoção da turbidez de um sistema de clarificação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Departamento de Engenharia Química). Trabalho de Conclusão de Curso. 36p. 2017.

LIMA, J. O. G. et al. Os sólidos totais dissolvidos (STD) e a Condutividade Elétrica (CE) nas águas de poços do município de Crateús-CE. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISAS E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas. **Congresso**. Palmas: liconepi, 2012. p. 1 - 7. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/196/1426>

LIM, T., 2012. **Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants**. v. 1. Springer.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3. ed. Brasil: Jorge Macedo, 2005.

MADRONA, G. S., et al. Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the Moringa oleifera Seed's Active Component for Water Treatment. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s.l.], v. 211, n. 1-4, p.409-415, 12 jan. 2010. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-009-0309-0>.

MELO, J. M. D. **Aplicação de polímero orgânico extraído do cacto (*Cereus jamacaru*) como coagulante principal e associado ao sulfato de alumínio no tratamento de água**. 67p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde**, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B.Textos Básicos de Saúde) ISBN 85-334-1240-1 1. Controle da qualidade da água. 2.Vigilância sanitária de ambientes. I. Título. II. Série.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana.** Rev. Saúde Pública. v. 36, n. 3, p. 370-4, 2002.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. Moringa oleifera seeds for softening hardwater. **Water Research**, v.29, n.12, p.1099-1104, 1995a.

NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J.B.; BANADDA, E.N.; NHAPI, I. 2009. The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. **Water Science and Technology**. 59, 1551–1558.

OLADOJA, N. A. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. **Journal Of Water Process Engineering**, [s.l.], v. 6, p.174-192, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.04.004>. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S2214714415000306/1-s2.0-S2214714415000306-main.pdf?_tid=4e77b1ca-c271-11e7-87fa-00000aab0f02&acdnat=1509917936_d59530fbed7d840dccbd5f2d43b13bd>. Acesso em: 02 jun. 2017.

OLADOJA, N. A.; PAN, G. Modification of local soil/sand with Moringa oleifera extracts for effective removal of cyanobacterial blooms. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [s.l.], v. 2, p.37-43, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2015.08.003>.

OLIVEIRA, L. L. C. et al. **Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de Moringa oleífera Lam.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.1, n.1, p.204- 210. Julho, 2011.

ONU (2012), **World Water Development Report 4**. Paris.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R, 2009. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13. n. 6. P. 765-771, 2009.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PEDROZO, C. S.; KAPUSTA, S. C. **Indicadores ambientais em ecossistemas aquáticos.** Porto Alegre: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2010. 72 p.

PEIXOTO, J. **Análises Físico-Químicas: cor, turbidez, pH, temperatura, alcalinidade e dureza.** Apostila de Laboratórios de Tecnologias Ambientais. Mestrado Integrado em Engenharia Biológica. Universidade do Minho, Braga, 2007.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de Coagulantes Orgânicos Naturais como Alternativa ao uso do Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água.** 2008. 78f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

REBOUÇAS, A. C. **Água e desenvolvimento rural**. São Paulo, v. 15, n. 43, p. 327-344, Dec. 2001.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Ouro Preto-MG, 2007.

RICHTER, V. **Recursos Hídricos Eutrofizados: Descrição de métodos preventivos e corretivos para sua recuperação**. 2001. Simpósio internacional de ciências integradas. Unesp. Campus guarujá.

ROSA, R. S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINI, B. **Importância da Compreensão dos Ciclos Biogeoquímicos para o Desenvolvimento Sustentável**. 2003. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Cap. 56. Disponível em: <<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/EDUC-AMB-Ciclos-Biogeoquimicos.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

SOLANA, I. **Estudo da viabilidade de utilização de um polímero de base orgânica em substituição ao cloreto férrico no tratamento de efluente industrial**. 2014. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de Moringa oleifera para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, v.29, n.2, p.157-163, 2008.

TAVARES, F.; BARBOSA, G.M. C.; RIBON A. A Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 2010.

TERIN, U. C. **Desempenho dos coagulantes naturais, adsorvente alternativo e filtros lentos domiciliares no tratamento com *Microcystis aeruginosa* e microcistina: alternativas tecnológicas para comunidades isoladas**. 2017, 174p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

THEODORO, J.D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

THEODORO, J. D. P. et al. **Estudo de Extração Salina da Semente de *Moringa oleifera* Lam Aplicado na Remoção do Parâmetro Cor para o Tratamento de Água Potável**. Revista Tecnológica. Edição Especial 2014. p. 275 – 283, 2015.

TREVISAN, T. S. **Coagulante tanfloc sg como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA cafezal**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

TUNDISI, José G.; TUNDISI, Takako M. **Limnologia**. 1 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008.

UNESCO. **Water for a Sustainable World**, 2015. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>. Acesso em: 15 Maio. 2017.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA (Paraná). Universidade Estadual de Londrina (Org.). **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina, 2002. 595 p.

VANACOR, R. N. **Avaliação do Coagulante Orgânico veta Organic utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento Público**. Porto Alegre. 2005. Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VERBEL, R. E. O.; MARTÍNEZ, I. D. M.; GAZABÓN, L. E. M. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. **Scielo**, v. 8, n. 1, 2013.

VERBEL, R. E. O.; MENDONZA, Y. R. A.; MARTÍNEZ, I. D. M.; CAMARGO, D. P. C. GAZABÓN, L. E. Utilización de Tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. **Avances Investigación en Ingeniería**, v.11, n.1, 1794-4953, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Minas Gerais, Belo Horizonte:Editora UMFG, 2005.

ZARA, R. F. et al. Estudo da eficiência de polímero natural extraído do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e floculação no tratamento de água. **Revista de Estudos Ambientais (Online)**, v.14, n.2 esp, p.75-83, 2012.