

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCELA SORIANI

**EFICIÊNCIA DA *Moringa oleifera* COMO COAGULANTE NATURAL
EM SOLUÇÃO SALINA PARA ÁGUA DE ABASTECIMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2015

MARCELA SORIANI

**EFICIÊNCIA DA *Moringa oleifera* COMO COAGULANTE NATURAL
EM SOLUÇÃO SALINA PARA ÁGUA DE ABASTECIMENTO**

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira.

Co orientadora: Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro

LONDRINA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná



Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

EFICIÊNCIA DA *Moringa oleifera* COMO COAGULANTE NATURAL EM SOLUÇÃO SALINA PARA ÁGUA DE ABASTECIMENTO

por

Marcela Soriani

Monografia apresentada no dia 16 de junho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

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

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

Aos meus pais, Silvia e Luiz Augusto, com todo meu amor e gratidão, por serem os melhores pais do mundo e por todo incentivo e ajuda, encorajando-me a enfrentar todos os momentos difíceis da vida.

AGRADECIMENTOS

Certamente não será possível a referência a cada um que esteve envolvido nesta importante etapa da minha vida e, desde já peço desculpas àqueles que não estão presentes entre essas palavras, mas é certa minha gratidão e meu carinho.

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, por me dar força, paciência, dedicação e não me deixar fraquejar diante dos momentos difíceis durante a realização do trabalho.

Agradeço aos meus familiares que amo tanto e principalmente aos meus pais, Silvia e Luiz Augusto, pelo amor, carinho, compreensão, pelos ensinamentos, apoio incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis da minha graduação. Meus pais que nunca mediram forças para que eu realizasse todos os meus sonhos e que sempre compartilharam meus ideais. Minha eterna gratidão vai além de meus sentimentos.

Meus sinceros agradecimentos à Prof.^a Dr.^a Edilaine Regina Pereira, pela amizade, paciência, auxílio, apoio, ensinamentos e pela dedicada orientação durante a realização deste trabalho.

Às minhas amigas Anna, Flaviana, Ingrid, Júlia, Marcella, Mariane, Carla, Jaqueline, Francine e Glaucia que me acompanharam neste longo passar de anos, que me apoiaram e que muitas vezes compartilhei momentos de alegria, tristeza, angustia e ansiedade, me fazendo ter forças para sempre superar os desafios.

A Companhia de Abastecimento SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto) do município de Ibiporã – PR, pelo gentil e atencioso atendimento, pela disponibilização dos recursos necessários para a realização deste trabalho.

A todos os pesquisadores e professores do curso de Engenharia Ambiental pelos ensinamentos transferidos, especialmente aos professores da banca pela disponibilidade e atenção dada ao longo do desenvolvimento, não só desta pesquisa, assim como da minha formação profissional.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

SORIANI, Marcela. Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento. 2015. 74 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

Diversos coagulantes naturais estão sendo estudados no tratamento de água para abastecimento. Um deles é o coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera*. Alguns pesquisadores verificaram que a proteína presente nas sementes é responsável pela aceleração do processo de coagulação e que em solução salina aumenta ainda mais sua eficiência. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar a solução salina como meio potencializador à ação coagulante da semente de *Moringa oleifera* para tratamento de águas para abastecimento. A fim de comparar a eficiência da aplicação da semente em solução salina determinou-se os seguintes tratamentos: C1: 2,0 g *Moringa oleifera* e 2,0 g NaCl; C2: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,8 g NaCl; C3: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,6 g NaCl; C4: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,4 g NaCl; C5: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,2 g NaCl; C6: 2,0 g *Moringa oleifera* sem NaCl. Os ensaios foram realizados em Jar Test para simular o processo de coagulação/floculação/sedimentação. Os parâmetros analisados foram pH, temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, DQO e série de sólidos. Observou-se que para o pH os valores não obtiveram variações significativas comparados ao valor bruto variando numa faixa de 6,22 a 5,77 durante o processo de sedimentação. A solução salina aumentou os valores de condutividade elétrica, mas se manteve com poucas variações no decorrer do processo de sedimentação. O tratamento C2 possuiu as maiores remoções de cor, turbidez e DQO, com 91,5%, 91% e 38,9%, respectivamente, além de apresentar uma significativa remoção de sólidos totais (65%). As análises estatísticas comprovaram que, no geral, não houve diferença significativa dos parâmetros analisados entre os tratamentos com adição de NaCl, diferindo significativamente do tratamento sem NaCl. Diante dos resultados comprova-se, portanto a eficiência do uso de NaCl como meio potencializador da ação deste coagulante natural.

Palavras chave: *Moringa oleifera*. Tratamento de Água. Solução salina.

ABSTRACT

SORIANI, Marcela. *Moringa oleifera* efficiency as natural coagulant in saline solution for water supply. 2015. 74 p. Final Paper. (Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2015.

Several natural coagulants are being studied in the treatment of potable water. One is the coagulant is the base of *Moringa oleifera* seeds. Some researchers have found the protein present in the seed responsible for accelerating the coagulation process and in saline solution it even increases its efficiency. Therefore, this study aims to evaluate the saline solution as a means potentiating the action of the coagulant *Moringa oleifera* seed for water treatment for supplies. In order to compare the efficiency of seed application in saline solution was determined for the following treatments: C1: 2.0 g *Moringa oleifera* and 2.0 g NaCl; C2: *Moringa oleifera* 2.0 g and 1.8 g NaCl; C3: *Moringa oleifera* and 2.0 g NaCl 1.6 g; C4: *Moringa oleifera* and 2.0 g NaCl 1.4 g; C5: *Moringa oleifera* and 2.0 g NaCl 1.2 g; C6: 2.0 g *Moringa oleifera* without NaCl. Assays were performed in Jar Test to simulate the process of coagulation/flocculation/sedimentation. The parameters analyzed were pH, temperature, turbidity, apparent color, conductivity, COD and series of solids. It was observed that for pH values did not obtain significant variations compared to the gross amount varying in a range from 6.22 to 5.77 lasting the sedimentation process. Saline increased electrical conductivity values, but remained with few variations during the sedimentation process. The C2 treatment possessed the greatest color removal, turbidity and COD, with 91.5%, 91% and 38.9%, respectively, and present significant removal of total solids (65%). Statistical analyzes showed that, overall, there was no significant difference between the analyzed parameters between treatments with the addition of NaCl, differing significantly without NaCl treatment. Given the results proves, therefore the efficiency of the use of NaCl as a means potentiating the action of this natural coagulant.

Keywords: *Moringa oleifera*. Water treatment. Saline solution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore de <i>Moringa oleifera</i>	26
Figura 2 – Flores da <i>Moringa oleifera</i>	26
Figura 3 – Vagem (a) e sementes da árvore <i>Moringa oleifera</i> (b).....	27
Figura 4 – Local onde a água bruta chega à estação de tratamento de água	30
Figura 5 - Laboratório de Saneamento do Campus Londrina – UTFPR.....	31
Figura 6 – Modelo para dobra do papel filtro.....	33
Figura 7 – Aplicação dos sachês nos jarros do equipamento Jar-Test	33
Figura 8 - Equipamento Jar-Test.....	34
Figura 9 – Valores médios de pH da água tratada observados durante a sedimentação.....	41
Figura 10 – Valores de temperatura da água tratada observados durante a coagulação/floculação/sedimentação.....	43
Figura 11 – Redução de turbidez (%) ao longo do processo de sedimentação	45
Figura 12– Valores médios da eficiência de remoção da cor obtidos durante a sedimentação.....	49
Figura 13–Primeiro ensaio, tempo de coagulação (10 minutos)	50
Figura 14 – Primeiro ensaio, sedimentação aos 40 minutos.....	50
Figura 15 – Média dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) verificado ao longo do tempo	53
Figura 16 - Redução de DQO (%) ao longo do processo de sedimentação.....	57
Figura 17– Eficiência de remoção de sólidos totais ao longo de 10 minutos (T1) (a), 20 minutos (T2) (b), 30 minutos (T3) (c) e 40 minutos (T4) (d).	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrão organoléptico de potabilidade	29
Tabela 2 – Condições operacionais das etapas de tratamento da água.....	35
Tabela 3 – Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia	36
Tabela 4 - Modelo adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância.....	37
Tabela 5 – Características da água bruta	39
Tabela 6 – Caracterização das condições meteorologias	39
Tabela 7 – Valores médios para o pH ao longo da sedimentação para cada um dos tratamentos realizados	40
Tabela 8 - Análise de variância para o pH no tempo 10 minutos	42
Tabela 9 - Comparações de médias para o pH pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.....	42
Tabela 10 – Valores médios, mínimos e máximos para temperatura (°C) em cada um dos ensaios durante o tratamento.....	43
Tabela 11 - Análise de variância para a temperatura no tempo 10 minutos	44
Tabela 12 - Comparações de médias para a temperatura pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.....	44
Tabela 13 – Valores médios para turbidez (NTU) ao longo da sedimentação	45
Tabela 14 - Análise de variância para a turbidez no tempo 10 minutos	46
Tabela 15 - Análise de variância para a turbidez no tempo 30 minutos	47
Tabela 16 - Análise de variância para a turbidez no tempo 40 minutos	47
Tabela 17 - Comparações de médias para a turbidez pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.....	47
Tabela 18 – Valores médios para cor aparente ao longo da sedimentação para cada um dos tratamentos realizados	48
Tabela 19 - Análise de variância para a cor no tempo 10 minutos.....	51
Tabela 20 - Análise de variância para a cor no tempo 30 minutos.....	51
Tabela 21 - Análise de variância para a cor no tempo 40 minutos.....	51
Tabela 22 - Comparações de médias para a cor pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.....	51

Tabela 23 – Valores médios para condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ao longo da sedimentação para cada um dos tratamentos realizados	52
Tabela 24 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 10 minutos	54
Tabela 25 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 20 minutos	54
Tabela 26 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 30 minutos	54
Tabela 27 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 40 minutos	54
Tabela 28 - Comparações de médias para a condutividade elétrica pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.	55
Tabela 29 – Eficiência de remoção de DQO para os 6 tratamento ao longo do ensaio	56
Tabela 30 - Análise de variância para a DQO no tempo 10 minutos.....	57
Tabela 31 - Análise de variância para a DQO no tempo 40 minutos.....	58
Tabela 32 - Comparações de médias para DQO pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.....	58
Tabela 33 – Valores médios (mg/L) e de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis (%) aos 40 minutos	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
3	REFERENCIAL TEORICO.....	14
4.1	ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL.....	14
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....	15
4.2.1	Características físicas	16
4.2.1.1	Temperatura.....	16
4.2.1.2	Cor Aparente	16
4.2.1.3	Turbidez	17
4.2.1.4	Condutividade Elétrica.....	17
4.2.2	Características químicas	18
4.2.2.1	pH.....	18
4.2.2.2	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	18
4.3	TECNOLOGIAS APLICADAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA.....	19
4.3.1	Coagulação	19
4.3.1.1	Compressão da dupla camada elétrica	20
4.3.1.2	Adsorção e neutralização de carga	21
4.3.1.3	Varredura	22
4.3.1.4	Formação de pontes.....	22
4.3.2	Floculação.....	22
4.3.3	Sedimentação	23
4.4	USO DE COAGULANTES.....	24
4.4.1	Coagulantes naturais	25
4.4.1.1	<i>Moringa oleifera</i>	25
4.5	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	29
5	METODOLOGIA	30
5.1	Local de coleta	30
5.2	Local do ensaio	30
5.3	Ensaio de laboratório.....	31
5.3.1	Preparação do coagulante natural <i>Moringa oleifera</i>	31
5.3.2	Confecção dos sachês	32
5.3.3	Ensaio Jar-Test	34
5.4	Parâmetros analisados	35
5.5	Análise estatística.....	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1	pH.....	40
6.2	Temperatura	42
6.3	Turbidez.....	44
6.4	Cor Aparente	48
6.5	Condutividade Elétrica.....	52
6.6	Demanda química de oxigênio (DQO)	55
6.7	Série de sólidos	59
7	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIA	64
	APÊNCIDE A.....	70

1 INTRODUÇÃO

A água é componente fundamental de dinâmica na natureza, impulsiona todos os ciclos e é um dos principais elementos para a vida no planeta Terra. Além de usar a água para suas funções vitais, o homem utiliza os recursos hídricos para a produção de energia, produção de alimentos, desenvolvimento industrial, agrícola e econômico (TUNDISI, 2003).

A preocupação com o abastecimento de água das populações acompanha a humanidade desde seu surgimento, sendo condicionante para a localização e criação da sociedade. Ao longo dos anos, foi se tornando cada vez mais diversificadas e exigentes, em quantidade e qualidade, as necessidades de uso da água, provocando um crescente impacto ao meio ambiente, devido aos fenômenos antrópicos, como o lançamento de efluentes industriais e agrícolas, despejos de esgoto doméstico, destinação inadequada de lixo, aplicação de defensivos agrícolas no solo e atividade mineradora, que afetam diretamente a qualidade do corpo receptor trazendo riscos à saúde e servindo como veículo para agentes biológicos e químicos.

A realidade de países em desenvolvimento como o Brasil, leva a situações em que muitas pessoas captam e consomem águas superficiais sem nenhum tipo de tratamento, águas que podem estar contaminadas pelas próprias condições sanitárias do local ou pelas atividades antrópicas irregulares, colocando em risco a vida de milhões de pessoas que poderão ser vítimas de doenças de veiculação hídrica.

Com isso, é necessário realizar a remoção da maior quantidade possível de contaminantes antes de usá-la para consumo humano, que em condições sanitárias apropriadas é realizada através de operações unitárias básicas de tratamento de água como a coagulação, floculação, sedimentação/flotação e filtração.

A coagulação é a considerada a etapa mais crítica do tratamento de água para abastecimento, pois é caracterizada, geralmente, pela adição de coagulantes químicos. Tais coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio, amplamente utilizado, muitas vezes podem trazer riscos à saúde da população devido ao alumínio remanescente na água tratada e da grande quantidade de lodo produzido,

tornando o uso de coagulantes naturais, de origem vegetal como a *Moringa oleifera*, uma alternativa viável e acessível (MADRONA, 2010).

Com isso, a utilização de coagulantes naturais no tratamento de água para abastecimento vem apresentando vantagens em relação aos químicos, principalmente em relação à baixa toxicidade, biodegradabilidade do lodo gerado e baixo índice de produção de lodos industriais.

Assim, estudos realizados para comprovar sua eficiência, demonstraram que a semente da *Moringa oleifera* é composta por lipídios, carboidratos e proteínas, esta última em maior proporção, aproximadamente 40%, e verificaram que o componente ativo desta semente é uma proteína solúvel que atua como um polieletrólito catiônico natural durante o tratamento proporcionando a coagulação da água (NDABIGENGESERE et al., 1995) e que sua semente em solução salina aumenta ainda mais a eficiência de extração do componente ativo (OKUDA et al., 1999).

Diante deste fato, o estudo que revela melhores condições de potencialidade para o uso deste coagulante natural torna-se extremamente necessária. Este trabalho tem como propósito avaliar a solução salina como meio a potencializar a ação coagulante da *Moringa oleifera* além de verificar se tal coagulante possa ser uma opção de uso sustentável as estações de tratamento de água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é utilizar de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante natural para o tratamento de água de abastecimento e ainda, verificar a potencialidade da solução salina para melhorias no processo de coagulação/floculação/sedimentação.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Avaliar os resultados de eficiência do tratamento da água (coagulação, floculação, sedimentação), pela utilização de semente de *Moringa oleifera*;
- Analisar o uso de solução salina para potencializar a proteína da *Moringa oleifera*;
- Analisar os parâmetros: pH, temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio, série de sólidos; e

3 REFERENCIAL TEORICO

4.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

O abastecimento de água é um serviço necessário à vida das pessoas e das comunidades, insere-se em um conceito mais amplo de saneamento, que é definido pelo conjunto de ações sobre o meio ambiente no qual vivem as populações, visando garantir a elas condições de salubridade, que protejam sua saúde, proporcionando seu bem-estar físico, mental e social (HELLER E PÁDUA, 2006).

No Brasil, o tratamento da água para fins de abastecimento envolve diferentes processos e operações para adequar a água dos mananciais aos padrões de potabilidade exigido pelo Ministério da Saúde na PORTARIA Nº 2914, de dezembro de 2011, a qual “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2011).

A lei nº 11.455 de 2007 (BRASIL, 2007), dispõe sobre as diretrizes nacionais e política para o saneamento no Brasil, possuindo como base, os princípios de universalização ao acesso para todos os domicílios ocupados e integralidade aos diversos serviços de saneamento básico para população.

Contudo, de acordo com os dados disponibilizados pelo IBGE (2011), 90% dos municípios têm todos os distritos atendidos por rede geral de abastecimento de água, os municípios sem atendimento ou com atendimento parcial concentram-se nas Regiões Norte e Centro-Oeste e interior das Regiões Nordeste e Sul. Nas Regiões Norte e Centro-Oeste isto ocorre em municípios de grande extensão e população rarefeita, onde a distribuição de água por rede geral enfrenta grandes dificuldades.

A maior abrangência deste serviço está na Região Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo, onde quase todos os municípios têm abastecimento de água por rede geral em todos os distritos. Em relação ao tratamento da água distribuída, a situação é bem mais precária, com proporções menores de municípios e de distritos por município com este serviço (IBGE, 2011).

De modo geral, embora o abastecimento de água por rede geral possua uma difusão pelo Território Nacional, a garantia da qualidade desta água ainda é deficiente, pois diversos municípios lançam esgoto não tratado em rios, lagos ou lagoas, fazendo com que o tratamento de água com finalidade de abastecimento encareça, podendo causar doenças à população entre outros impactos (IBGE, 2011).

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos de 2012 apontou informações sobre abastecimento em 5070 municípios e com população urbana de 160,4 milhões de habitantes, com uma representatividade de 91% em relação ao total de municípios e 98% em relação à população urbana do país. Os índices de atendimento por redes de água nas áreas urbanas das cidades brasileiras apresentam uma média nacional de 93,2%, com destaque para as regiões Sudeste com índices médios de 97% e Sul com 97,2%. Os municípios brasileiros possuem 542,8 mil quilômetros de redes de água, as quais estão conectados 48,2 milhões de ramais prediais e apresenta um consumo de água diário de aproximadamente 167,5 litros por habitante (SNSA, 2012).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva e ocupa cerca de 75% da superfície da Terra, institui-se o solvente universal de grande maioria das substâncias e suas diferentes características naturais advêm desta capacidade de dissolução, atua também como meio de transporte em escoamento superficial e subterrâneo, fazendo com que as características de um mesmo curso d'água se altere temporal e espacialmente (LIBÂNIO, 2010).

A qualidade da água pode ser representada por parâmetros que traduzem suas características físicas, químicas e biológicas, para sua caracterização é necessário quantificar as impurezas presentes no corpo hídrico. A partir desse conhecimento é possível identificar as técnicas e as operações adequadas para seu tratamento e avaliar se a água distribuída à população é segura do ponto de vista sanitário e legislativo (HELLER E PÁDUA, 2006).

4.2.1 Características físicas

As características físicas da água para abastecimento geram impacto imediato ao consumidor, devido à percepção humana a água não deve apresentar turbidez, cor, sabor e odor fora do padrão de potabilidade exigido pela PORTARIA Nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 (LIBÂNIO, 2010). Dentre as características físicas da água pode-se destacar:

4.2.1.1 Temperatura

A temperatura é diretamente proporcional à velocidade das reações, à solubilidade das substâncias, à concentração do oxigênio dissolvido, ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático, à formação de subprodutos da desinfecção, ao recrudescimento microbiológico e a taxa de corrosão nas tubulações integrantes dos sistemas de abastecimento (LIBÂNIO, 2010).

A alteração da temperatura das águas naturais pode ser originada da insolação, influenciada pelo clima e latitude, e de decorrência antrópica, causada pelo despejo de efluentes industriais ou de águas de refrigeração de máquinas e caldeiras (LIBÂNIO, 2010). O aumento da temperatura eleva também o potencial de crescimento de microrganismos no sistema de distribuição, podendo aumentar a sensação de gosto e odor, além da cor e corrosão (HELLER E PÁDUA, 2006).

4.2.1.2 Cor Aparente

A cor da água para fins de abastecimento normalmente deve-se à decomposição de matéria orgânica, principalmente vegetal como os ácidos fúlvicos e húmicos (VON SPERLING, 2005), relacionada com a fração húmica do solo, porém, a fonte da cor no recurso hídrico pode resultar da presença de ferro e outros

metais como constituintes naturalmente encontrados nos mananciais, ou como produtos de corrosão, por desejos de efluentes industriais, indicando uma situação perigosa. A cor da água varia com o pH, sendo facilmente removida em valores de pH mais baixos (HELLER E PÁDUA, 2006).

4.2.1.3 Turbidez

De acordo com Von Sperling (2005), a turbidez representa o grau de interferência à passagem de luz na água, apresentando aparência turva ao corpo hídrico. Os constituintes comumente responsáveis por essa turbidez são os fragmentos de argila, silte, plâncton, microrganismos, e matéria orgânica e inorgânica. Fatores que também podem estar diretamente relacionado com a turbidez é a precipitação de carbonato de cálcio para águas duras, de dióxido de ferro e de compostos de alumínio em águas tratadas (LIBÂNIO, 2010).

A turbidez é um parâmetro que está diretamente relacionado com a presença de sólidos suspensos na água, a presença dessas partículas provoca a dispersão e absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa (RICHTER E NETTO, 1991).

4.2.1.4 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica indica a capacidade da água natural de transmitir corrente elétrica através da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions (LIBÂNIO, 2010). Está diretamente relacionada à quantidade de sais dissolvidos na água, ou seja, a proporção iônica. Sua determinação permite estimar a quantidade de sólidos totais dissolvidos. Para elevados valores de sólidos totais dissolvidos, maior a solubilidade dos precipitados de alumínio e de ferro, influenciando na cinética da coagulação, afetando também na formação e precipitação de carbonato de cálcio, favorecendo a corrosão (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

4.2.2 Características químicas

As características químicas permitem classificar a água por seu conteúdo mineral, através dos íons presentes, determinar o grau de contaminação, permitindo determinar a origem dos principais poluentes, caracterizar poluentes tóxicos e suas possíveis fontes e avaliar o equilíbrio bioquímico necessário para manutenção da vida aquática (MACEDO, 2007).

4.2.2.1 pH

O pH (Potencial Hidrogeniônico) é um parâmetro utilizado para indicar a acidez de uma solução, nos sistemas de abastecimento. Águas com valores baixos de pH tendem a ser corrosivas e águas com valores elevados de pH tendem a formar incrustações (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). É monitorado em maior frequência nas estações de tratamento de água pela influência nos processos relacionados a potabilização, desde aplicação dos coagulantes ao processo de desinfecção química.

4.2.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

De acordo com Von Sperling (2005), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) aponta a quantidade de oxigênio (na unidade de mg/L) necessário às bactérias para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea, representando uma indicação indireta da concentração de carbono orgânico biodegradável. A determinação desse parâmetro é realizada através da diferença de concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) em uma amostra de água em um período de cinco dias e temperatura de 20°C (LIBÂNIO, 2010).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro que indica o consumo de oxigênio em função da oxidação química da matéria orgânica,

retratando indiretamente o teor de matéria orgânica presente no corpo d'água (VON SPERLING, 2005).

4.3 TECNOLOGIAS APLICADAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA

O tratamento de água consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos entre outras substâncias presentes nas águas naturais que podem ser prejudiciais à saúde humana, levando em consideração os custos de implantação, operação e manutenção, visando gerar o menor impacto ambiental possível (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a água pode conter impurezas, como as partículas coloidais, substâncias húmicas e organismos em geral, as quais possuem cargas superficiais negativas, que agem como forças repulsivas umas das outras, permanecendo no meio líquido se suas características não forem alteradas. Para que seja possível a remoção de tais impurezas e potabilização das águas naturais para fins de consumo humano, é necessário alterar algumas características da água, conseqüentemente, das impurezas, por meio das operações unitárias básicas coagulação, floculação, sedimentação (ou flotação) e filtração.

4.3.1 Coagulação

Coagulação consiste no processo pelo qual o agente coagulante é adicionado à água, desestabilizando as partículas coloidais e suspensas, através de ações físicas e reações químicas, com duração de poucos segundos, entre o coagulante, a água e as impurezas presentes. As partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos, desenvolvem cargas elétricas em contato com a água e assim, forças elétricas repulsivas agem sobre os colóides produzindo uma barreira de prevenção a agregação (LIBÂNIO, 2010).

Por isso, é necessário alterar a força iônica do meio, processo que é desenvolvido geralmente em sistemas de tratamento de água, pela adição de sais

de alumínio ou de ferro, de polímeros sintéticos ou vegetais catiônicos, caracterizando o fenômeno da coagulação. As interações entre o coagulante e a água ocorrem na unidade de mistura rápida formando espécies hidrolisadas, sendo necessária agitação intensa para que o processo de coagulação seja eficiente (DI BERNARDO E DANTAS 2005).

De maneira geral, todas as partículas suspensas e coloidais dispersas na água, apresentam cargas negativas, devido à adsorção seletiva de íons eletronegativos (LIBÂNIO, 2010).

As moléculas de água e a “atmosfera” iônica que se forma ao redor das partículas estarão sujeitas às forças eletrostáticas de atração e repulsão e, devido a essas forças, as camadas de água ao redor das partículas manifestam mobilidade decrescente conforme se aproxima da superfície das partículas. Assim, as primeiras camadas de água praticamente tornam-se imóveis em relação à partícula, que se move juntamente com a mesma definindo o chamado Plano de Cisalhamento, onde pode ser medido o Potencial Zeta da partícula (DI BERNARDO, 1993).

O Potencial Zeta consiste na diferença de potencial em uma amostra de água contendo colóides negativos, de tal forma que uma porção do meio, em torno da partícula, move-se junto com esta ao eletrodo positivo, caracterizando o Plano de Cisalhamento. A diferença de potencial entre o Plano de Cisalhamento e o meio envolvente é denominada Potencial Zeta (DI BERNARDO, 1993). Ou seja, é a diferença de potencial entre a superfície da camada compacta e o limite da camada difusa.

Libânio (2010) afirma ainda, que o processo da coagulação é considerado como o resultado da ação de quatro mecanismos distintos: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização, varredura e formação das pontes.

4.3.1.1 Compressão da dupla camada elétrica

Nesse mecanismo a desestabilização das partículas coloidais ocorre através da adição de íons de carga contrária (PAVANELLI, 2001), esse mecanismo pode ser desestabilizado por sais como cloreto de sódio, devido aos íons de mesma carga que são repelidos e íons de cargas contrárias que são atraídos pelos colóides,

fazendo com que quanto à maior carga do íon positivo, menor a quantidade necessária para coagulação (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

A inserção de um colóide no sistema coloidal implicará em um aumento de densidade de cargas na camada difusa e reduzindo o volume da esfera de influência das partículas para manter-se eletricamente neutra, ocasionando à coagulação por compressão da dupla camada difusa. O aumento de íons positivos e negativos na água acarreta no acréscimo da quantidade de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, tem seu volume reduzido, de modo que as forças de Van Der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

4.3.1.2 Adsorção e neutralização de carga

Neste caso, ao inserir o coagulante na dispersão coloidal, ocasiona interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente (PAVANELLI, 2001).

Em uma determinada faixa de pH, há formação de diferentes espécies hidrolisadas de carga positiva que podem ser adsorvidas pela superfície das partículas, favorecendo em sua desestabilização (LIBÂNIO, 2010).

Em relação à quantidade de coagulante necessária para neutralização da carga, será diretamente proporcional à área superficial do colóide, ou seja, para a água que apresentar maior número de partículas com menores dimensões será necessária maiores dosagens de coagulante (LIBÂNIO, 2010).

Di Bernardo e Dantas (2005), afirma que esse mecanismo é muito importante em estações de filtração direta de escoamento, ascendente e descendente, pois não há necessidade de formação de flocos para posterior sedimentação, mas das partículas desestabilizadas que ficarão retidas no interior filtrante da etapa de filtração.

4.3.1.3 Varredura

Conforme a quantidade de coagulante, pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocasionar a formação de precipitados como Al(OH)_3 ou Fe(OH)_3 , dependendo do coagulante empregado. Geralmente, os flocos resultantes desse mecanismo são maiores e sedimentam com maior facilidade que os flocos resultantes da coagulação com o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas (DI BERDARDO E DANTAS, 2005).

Esse mecanismo vem sendo bastante utilizado em estações de tratamento de água do tipo completa, em que se tem a floculação/sedimentação antecedendo à etapa de filtração (PAVANELLI, 2001).

4.3.1.4 Formação de pontes

Processo no qual envolve a adição de polímeros orgânicos naturais ou sintéticos de grandes cadeias moleculares, utilizados como ponte entre a superfície à qual estão aderidos em outras partículas (DI BERDARDO E DANTAS, 2005), a fim de diminuir a dosagem de coagulantes e conferir ao floco maior densidade (LIBÂNIO, 2010).

4.3.2 Floculação

A floculação corresponde à etapa em que são fornecidas condições para favorecer o contato e a agregação de partículas anteriormente coaguladas, tendo em vista a formação de flocos com tamanho e massa específicos que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração (DI BERNARDO et al., 2005).

As reações químicas que acontecem nas etapas anteriores possibilitam que as impurezas presentes na água se aglomerem, através de choques entre as partículas anteriormente desestabilizadas pela ação do coagulante, resultando no

crescimento de flocos. A ocorrência do transporte das partículas desestabilizadas para a formação dos flocos se dá por meio de três fenômenos: floculação pericinetica (movimento browniano), floculação ortocinetica (movimento do fluido) e sedimentação diferencial (sedimentação dos flocos) (LIBÂNIO, 2010).

As partículas coloidais possuem movimento aleatório, permitindo que ocorram as primeiras colisões entre as partículas desestabilizadas, decorrente do movimento Browniano que depende da energia térmica do fluido e da ação da gravidade. As partículas coloidais desestabilizadas chocam-se e aglomeram-se formando flocos de dimensões inferiores a $1\mu\text{m}$ caracterizando a floculação pericinetica (LIBÂNIO, 2010).

Já a floculação ortocinetica é resultante da introdução de energia externa que impulsiona a junção das partículas desestabilizadas e dos microflocos, formadas pelo movimento Browniano, para formação de flocos maiores e mais pesados, passíveis de serem removidos por sedimentação (LIBÂNIO, 2010).

A sedimentação diferencial ocorre da desuniformidade de volume e densidade dos flocos existentes. Deste modo, os flocos adquirem diferentes velocidades de sedimentação, concorrendo para que no movimento descendente na decantação ocorra às colisões e a formação de flocos mais pesados (LIBÂNIO, 2010).

4.3.3 Sedimentação

A sedimentação é um fenômeno físico, que faz com que as partículas suspensas realizem movimento descendente em meio líquido através da ação da gravidade. A sedimentação das partículas suspensas assegura a clarificação do meio líquido, separando os sólidos que estão presentes no meio aquoso (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Muitas vezes através da sedimentação simples não é possível remover todas as impurezas contidas nas águas naturais que se apresentam em estado coloidal, é necessário que essas partículas passem por um processo de aglomeração (mecanismo de floculação) para formar os que apresentem maior densidade do que a água, permitindo sua disposição no fundo do decantador.

Assim, as partículas que não forem removidas na sedimentação serão eliminadas no processo de filtração (PIANTÁ, 2008).

A filtração é uma operação que possui como principal objetivo remover partículas responsáveis pela cor e turbidez, auxiliando na inativação de microrganismo patogênicos (LIBÂNIO, 2010). É um processo de polimento para qualidade da água, consistindo basicamente na passagem da água por um meio poroso filtrante, como por exemplo, pedregulho, areia, antracito, membranas entre outros, que deve ser eficaz na retenção dos flocos que não sedimentaram, e eventualmente, alguns microrganismos (MADRONA, 2010).

4.4 USO DE COAGULANTES

Os coagulantes mais empregados em sistemas de tratamentos de água de abastecimento são os químicos como o sulfato de alumínio. Porém, a característica fundamental para um coagulante ser utilizado no tratamento de água consiste na capacidade de produzir precipitados e espécies hidrolisadas em dissociação no meio aquoso, capazes de desestabilizar ou envolver as partículas suspensas de coloidais presentes na água (LIBÂNIO, 2010).

Para definição do tipo de coagulante a ser utilizado, devem ser levados em consideração fatores relacionados à adequabilidade à água bruta, à tecnologia de tratamento, ao custo do coagulante, qualidade e característica do lodo gerado no tratamento.

Por fim, muitos agentes coagulantes podem ser usados nos processos de tratamento de água, como os coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro), polímeros orgânicos e os naturais, como a *Moringa oleifera* que serão adotados neste trabalho.

4.4.1 Coagulantes naturais

4.4.1.1 *Moringa oleifera*

Atualmente, a qualidade e quantidade de água doce disponível para consumo humano estão cada vez mais comprometidas, sendo necessária, a adoção de tratamentos alternativos e acessíveis a fim de que a qualidade da água seja segura para o abastecimento da população (CARDOSO et al., 2008). Para isso, diferentes coagulantes estão sendo avaliados em eficiência na remoção de cor e turbidez da água, evidenciando a *Moringa oleifera* como um coagulante natural vantajoso em relação aos químicos.

O uso de coagulantes de origem natural é uma alternativa ecologicamente viável na substituição dos coagulantes químicos, especialmente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixa produção de lodo residual (BERGAMASCO et al., 2009), ou seja, o estudo comparativo da utilização de coagulante natural, em termos de impacto ambiental, custos envolvidos e a determinação dos parâmetros de potabilidade, demonstram vantagens como à diminuição da geração de lodo, sendo este orgânico e biodegradável, eliminação de consumo de produtos alcalinizante e o uso de matéria prima retornável (PIANTÁ, 2008).

O coagulante natural como a *Moringa oleifera*, comparada com o alumínio, não alteram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão (MADRONA, 2010), diminuindo custos e facilitando a operação (ARANTES, 2010).

A *Moringa oleifera* é uma espécie arbórea, pertence à família Moringaceae, composta por um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies, nativa do noroeste indiano e encontrada em vários países dos trópicos (BEZERRA et al., 2004). É uma árvore de grande porte variando em altura entre 5 a 12 m, uma copa do tipo guarda-chuva ligada diretamente ao tronco com diâmetro de 10 a 30 cm e uma cortiça branca avermelhada (Figura 1).



Figura 1 – Árvore de *Moringa oleifera*
Fonte: Arantes (2014).

Dependendo do clima a folhagem pode ser perene, as flores são brancas ou apresentam coloração creme (Figura 2), os frutos são inicialmente verde claro e finos e se tornam mais largos conforme vão evoluindo de verde escuro para marrom, quando maturados fisiologicamente, podem atingir até 120 cm de comprimento.



Figura 2 – Flores da *Moringa oleifera*
Fonte: Matos (2010).

As sementes ficam acondicionadas no interior da vagem em conchas fechadas que se abrem quando maduras (VERSIANI, 2008), também possuem crescimento rápido e boa adaptação à seca (CARDOSO et al., 2008) (Figura 3).



Figura 3 – Vagem (a) e sementes da árvore *Moringa oleifera* (b)
Fonte: Arantes (2014)

A *Moringa oleifera* possui diversas aplicações e sua área de pesquisa vem sendo cada vez mais abrangente. Ferreira (2008) afirma, que extratos de toda parte da planta apresentam propriedades farmacológicas usadas popularmente e pela comunidade científica, as sementes apresentam atividade antimicrobiana contra fungos e bactérias, anti-inflamatório, diurético e atividade larvicida contra o mosquito transmissor da dengue e febre amarela. Paterniani et al. (2010) ressalta que sua semente triturada é uma alternativa para purificação da água apresentando redução de 90-99% de bactérias.

Desde as culturas antigas do Egito, foram documentadas as propriedades de cura do óleo de *Moringa oleifera*, utilizado na preparação de pomadas para pele. Este óleo possui propriedades antissépticas e anti-inflamatórias e também é utilizado na indústria de cosméticos no cuidado do corpo e cabelo (SILVA et al., 2011).

Serra et al. (2007) analisou o teor de óleo extraído da semente seca da *Moringa oleifera* e constata que o teor de óleo obtido foi de 39%, o grande teor de ácido oléico indica que o óleo é adequado para obtenção de um biodiesel com baixo teor de instauração, refletindo diretamente em sua estabilidade à oxidação, facilitando transporte e armazenamento.

Bongiovani (2013) afirma que a *Moringa oleifera* é composta por biopolímeros de origem vegetal possuindo em suas estruturas grandes moléculas

protéicas capazes de coagular partículas coloidais em suspensão, desestabilizando-as e clarificando a água.

Através de uma avaliação química e estrutural da semente de *Moringa oleifera* realizada por Gallão et al. (2006), constatou-se que a proteína é o composto encontrado em maior quantidade, cerca de 40%, sendo este o composto de maior importância no processo de clarificação da água. A presença da proteína catiônica de alto peso molecular desestabiliza as partículas presentes na água e flocula os colóides, assim o processo de coagulação/floculação provocado pela proteína existente na polpa da *Moringa oleifera* age de maneira semelhante ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos, polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou vegetal.

Os componentes ativos nas sementes da *Moringa oleifera*, que são considerados proteínas catiônicas dimérica, possuem um peso molecular de cerca de 13kDa, a presença dessa proteína desestabiliza as partículas contidas na água e através de um processo de neutralização e adsorção, floculam os colóides seguindo-se de sedimentação (NDACIGENGESERE et al., 1995).

O uso de sais como cloreto de sódio (NaCl) é uma metodologia presente na literatura de Okuda et al. (1999) e Okuda et al. (2001) e tem sido utilizado para melhorar a eficiência da extração do componente ativo da semente de *Moringa oleifera*, pois as proteínas apresentam aumento da solubilidade em função da concentração de sais, fenômeno chamado “*salting-in*”. Observaram também que a extração com NaCl 1 M tem capacidade de coagulação 7,4 vezes maior do que o extrato em água.

Acredita-se que íons adicionais presentes em solução, interagem com os grupos carregados das moléculas de proteína, atenuando a interação entre elas. Deste modo, o efeito eletrostático de íons em soluções salinas é um fator adicional para o aumento da solubilidade das proteínas (MARZZOCO E TORRES, 2014).

Segundo Ramos (2005), a *Moringa oleifera* é uma alternativa de coagulante natural, aos sais de alumínio e ferro, utilizados geralmente em sistemas de tratamento de água, que possuem como objetivo eliminar as partículas existentes na água através do processo de clarificação. A utilização do coagulante extraído do pó das sementes da *Moringa oleifera* apresenta grande potencial para promover a clarificação da água no processo de filtração direta.

De acordo com as análises realizadas por Moreti et al. (2013) a *Moringa oleifera* também mostrou-se eficiente na remoção de cor, turbidez, coliformes fecais, *Escherichia coli* e pH da água tratada no processo de coagulação e floculação de um sistema de abastecimento. O coagulante de origem vegetal comparado com coagulantes químicos como o Policloreto de Alumínio (PAC), o qual pode vir a causar problemas de saúde, devido ao alumínio residual em águas tratadas é uma alternativa viável para sistemas de abastecimento.

4.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação brasileira, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 2011 estabelece procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Propõe que, toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema de abastecimentos de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

Dessa forma, toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimentos de água, independente da forma de distribuição, está sujeita à vigilância sanitária. Assim a água potável deve estar em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade conforme com a Tabela 1.

Tabela 1 – Padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	Unidade	VMP
Cor Aparente	uH	15
Turbidez	uT	5

Fonte: Portaria Ministério da Saúde nº 2914 de 2011

Nota:

- (1) VPM = Valor máximo permitido
- (2) uH = Unidade Hazen (mgPt-Co/L)
- (3) uT = Unidade de turbidez.

Recomenda-se também que, em conformidade com o padrão organoléptico de potabilidade expresso na Portaria 2914 de 2011, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5, no sistema de distribuição.

5 METODOLOGIA

5.1 LOCAL DE COLETA

A água bruta utilizada para realização do experimento é proveniente do Ribeirão Jacutinga e coletada na entrada do sistema de tratamento da Companhia de Abastecimento SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto), localizado na cidade de Ibiporã – PR (Figura 4).



Figura 4 – Local onde a água bruta chega à estação de tratamento de água
Fonte: Autoria Própria

5.2 LOCAL DO ENSAIO

A água bruta que chega à estação de tratamento de água foi coletada e armazenada em dois recipientes de polietileno (bombonas) com capacidade de 25 litros e levada para análise experimental no Laboratório de Saneamento (Figura 5)

da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *Campus Londrina*, localizada sob as coordenadas geográficas de latitude e 23°18'2854"S e longitude 51°06'5066"O.



Figura 5 - Laboratório de Saneamento do Campus Londrina – UTFPR
Fonte: Autoria Própria

5.3 ENSAIO DE LABORATÓRIO

5.3.1 Preparação do coagulante natural *Moringa oleifera*

As sementes de *Moringa oleifera* utilizadas neste trabalho são provenientes da Universidade Estadual de Campinas, colhidas secas, armazenadas em sacos plásticos e mantidas na geladeira até o momento de seu uso, segundo indicações de Arantes et al. (2010).

A literatura apresenta diferentes metodologias indicando os procedimentos necessários para obtenção de solução à base de sementes de *Moringa oleifera*, contudo, a metodologia utilizada neste trabalho será baseada segundo adaptação de Theodoro (2012), em que será utilizado o liquidificador para a obtenção do pó de *Moringa oleifera*, pois tal equipamento garantirá a produção da solução coagulante em maior eficiência na redução de turbidez e cor aparente.

Foram trituradas 40 g da semente da *Moringa oleifera* no liquidificador, e utilizado 25 gramas de NaCl como meio potencializador da proteína existente na semente, os quais foram colocadas em 6 sachês, onde utilizou-se a seguinte distribuição entre os tratamentos:

- Tratamento C1: 2,0 g *Moringa oleifera* e 2,0 g NaCl;
- Tratamento C2: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,8 g NaCl;
- Tratamento C3: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,6 g NaCl;
- Tratamento C4: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,4 g NaCl;
- Tratamento C5: 2,0 g *Moringa oleifera* e 1,2 g NaCl;
- Tratamento C6: 2,0 g *Moringa oleifera* sem NaCl.

5.3.2 Confeção dos sachês

Para determinar o material da confecção dos sachês a ser utilizado no processo experimental para dissolução da proteína em meio líquido, Arantes (2014) testou diferentes tipos de materiais, dentre eles quatro tipos de geotêxteis sintéticos não tecidos com diferentes gramaturas e um tipo de coador de papel Melitta®, denominado filtro de papel. Para a escolha do material a ser utilizado considerou os seguintes fatores: praticidade de confecção dos sachês e teor de proteína considerável aliado à baixa concentração de sólidos.

Portanto, para confecção dos sachês nesta pesquisa utilizou-se coadores de papel Melitta®, dobrados de acordo com a Figura 6. A abertura do filtro de papel foi vedada com cliques, para evitar o escape de pó pelas laterais.

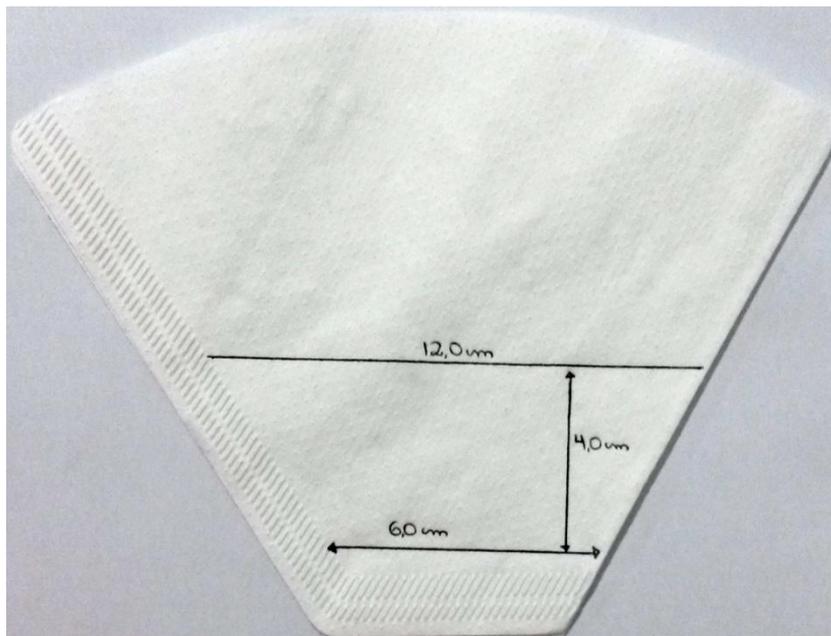


Figura 6 – Modelo para dobra do papel filtro.
Fonte: Autoria Própria.

Para a aplicação dos sachês, estes foram fixados em régulas de acrílico para que ficassem na mesma posição nos jarros do equipamento Jar-Test, centralizados em uma das paredes laterais e no fundo dos jarros, de acordo com a metodologia realizada por Arantes (2010) e Silva (2011), de modo que estes estejam completamente submersos em água e que não entrem em contato com a paleta de mistura (Figura 7).

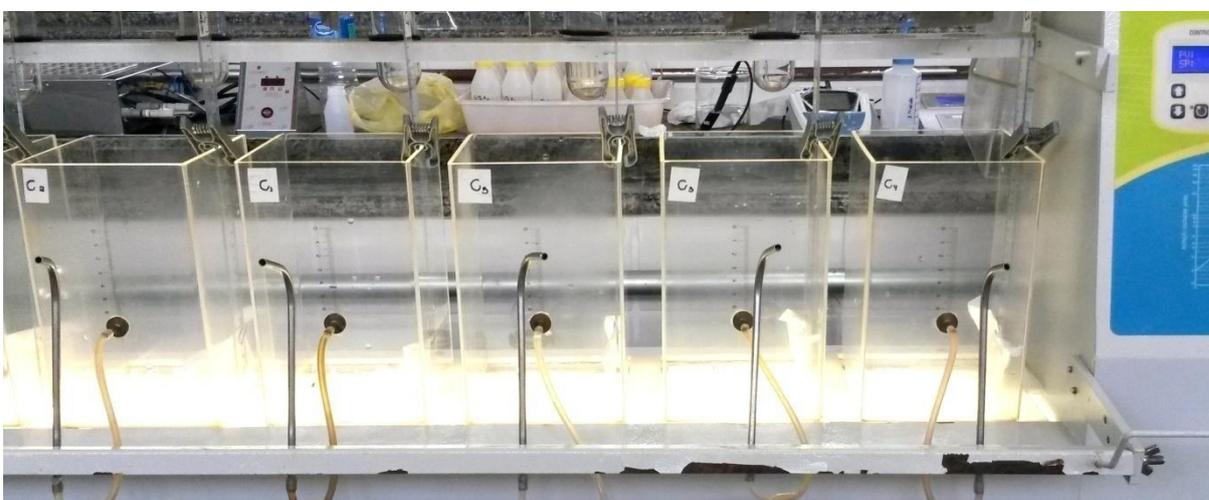


Figura 7 – Aplicação dos sachês nos jarros do equipamento Jar-Test
Fonte: Autoria Própria

5.3.3 Ensaio Jar-Test

Para execução das análises experimentais desse trabalho utilizou-se reatores estáticos (Jar-Teste), da marca Nova Ética, modelo 218 – 6LDB, equipamento geralmente utilizado em estações de tratamento de água, como simulador, em escala de bancada, dos processos de coagulação, floculação e sedimentação para amostras de água bruta com diferentes características (PIANTÁ, 2008), com a função de determinar as dosagens ótimas dos coagulantes e para determinação de parâmetros básicos na elaboração do projeto de uma Estação de Tratamento de Água (ETA).

Este equipamento, representado pela Figura 8, possui 6 recipientes graduados com capacidade de 2 litros cada, onde a velocidade das pás localizadas no interior de cada recipiente é controlada por um painel digital.

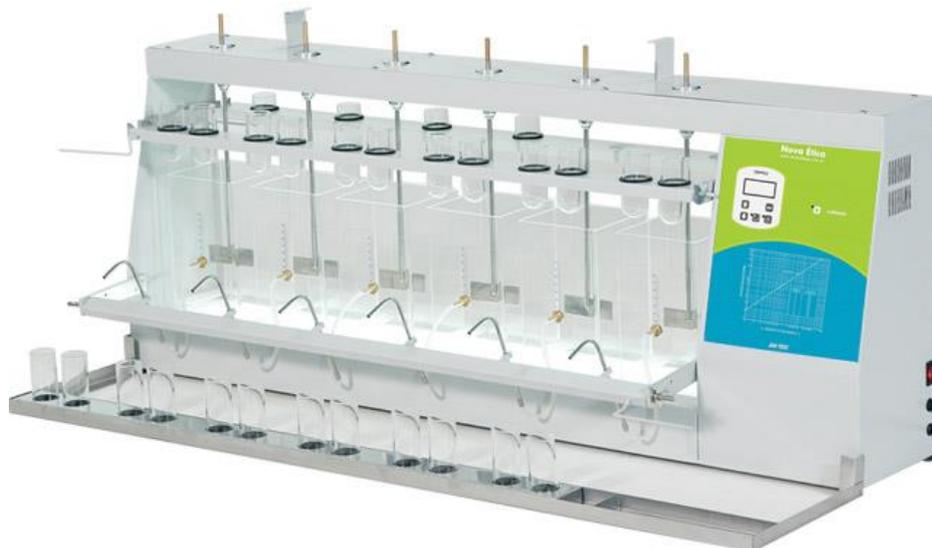


Figura 8 - Equipamento Jar-Test
Fonte: Santos (2011)

Assim, após a finalização no preparo e acondicionamento dos sachês nos jarros do jar-test, foram adicionados 2 litros da água bruta em cada um, para iniciar a dispersão da proteína. A combinação do gradiente de velocidade e do tempo de

mistura determinados garantiu o contato de todo volume de água presente nos jarros com sachê durante o período de avaliação.

As condições operacionais adotadas nas etapas de tratamento da água (coagulação, floculação e sedimentação) utilizando as 6 soluções coagulantes à base de sementes de *Moringa oleifera*, estão descritas na Tabela 2, adaptado de Arantes (2014).

Tabela 2 – Condições operacionais das etapas de tratamento da água.

Etapa	Gradiente médio de velocidade	Tempo de mistura ou repouso
Coagulação	100 s ⁻¹	60 s. (mistura rápida)
Floculação	15 s ⁻¹	10 min. (mistura lenta)
Sedimentação	-	30 min. (repouso)

Fonte: ARANTES, 2014.

Ao longo de 30 minutos de sedimentação coletou-se amostras em intervalos de tempo de 10 minutos entre uma amostra e outra, sendo coletada ao final do experimento 4 amostras de cada jarro. O experimento foi realizado em triplicata para fins de análise estatística.

5.4 PARÂMETROS ANALISADOS

Para todas as variações de concentrações de *Moringa oleiferae* NaCl foram determinados os parâmetros de pH, temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, DQO e série de sólidos de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) (Tabela 3).

Tabela 3 – Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia

Parâmetro	Equipamento/Modelo	Metodologia
pH	pHmetro Tecnopon mPA-210	4500 B
Temperatura	Termômetro Digital	-
Turbidez	Turbidímetro HACH 2100AN	2130 B
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 B
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 B
DQO	Bancada	5220 B
Série de sólidos	Estufa SL 100, Mufla MA 385, Balança AW 220	2540 B

Fonte: Standard Methods, APHA (2012)

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As comparações entre as diferentes concentrações de *Moringa oleifera* e NaCl, obtidos nos testes de sedimentação, foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA), considerando um delineamento inteiramente casualizado simples. Para os casos em que houve diferença significativa em pelo menos uma das concentrações, foi aplicado o teste de comparações de média de Tukey, considerando sempre um nível de 5% de significância (significativo se p-valor < 0,05).

As análises estatísticas foram realizadas usando o *software* R (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), na versão 3.2.0, juntamente com o pacote ExpDes (FERREIRA et al., 2013).

Para o delineamento inteiramente casualizado, o modelo estatístico considerou o efeito do fator “Concentração de *Moringa oleifera* e NaCl”. Assim, o modelo fica dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, j=1,2,\dots, k \text{ e } i=1,2,\dots, r, \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Y_{ij} : valor da variável resposta para a i -ésima concentração, na j -ésima repetição;

μ : média geral, comum a todas as observações;

$\tau_i = \mu_i - \mu$: efeito da i -ésima concentração, ou seja, mede o desvio da i -ésima média (μ_i), em relação à μ ;

ε_{ij} : erro aleatório não observável, associado à observação Y_{ij} .

As suposições associadas ao modelo são as seguintes: os erros ε_{ij} são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (IID), com distribuição normal de probabilidade, com média zero e variância constante (homocedasticidade) – $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

Para a realização da análise de variância e comparação das médias para cada parâmetro, considerou-se um nível de significância de 5%. Os resultados da análise de variância foram agrupados em uma tabela conforme proposto por Martins (2006). A Tabela 4 apresenta o modelo utilizado no trabalho.

Tabela 4 - Modelo adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações					
Resíduo					
TOTAL					

Nota:

(1) GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = F Calculado.

Para a análise da Tabela 4 deve-se destacar o Valor-P, utilizado para testar o efeito do tratamento (concentração), considerando o nível de significância adotado. Assim, se o Valor-P for menor ou igual a 0,05, indica que o efeito do tratamento é significativo.

Se for detectada a significância do tratamento, devem ser realizadas as comparações múltiplas. Esta análise foi realizada segundo o Teste de Tukey, que compara a diferença entre duas médias (contraste) com a diferença mínima

significativa (dms), apresentada na Equação 2. Duas médias são consideradas diferentes quando o contraste é maior ou igual à dms.

$$dms = q \sqrt{\frac{QMR}{r}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

q: é a amplitude total estudentizada (tabelado);

QMR: é o quadrado médio do resíduo;

r: representa o número de repetições.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora muitos estudos tenham utilizado água sintética em experimentos, nesta pesquisa optou-se por utilizar água diretamente do Ribeirão Jacutinga, água esta que chega a estação de tratamento. Portanto, é importante levar em consideração os compostos naturais podem sofrer variações em sua composição, podendo interferir no processo. Todos esses fatores são levados em consideração ao avaliar os resultados obtidos.

As características da água superficial utilizadas neste estudo estão representadas na Tabela 5 e a caracterização das condições meteorológicas do dia da coleta (01/04) juntamente com os 4 dias que à antecederam estão representados na Tabela 6, para título de comparação e determinação da eficiência de remoção dos parâmetros físicos e químicos.

Tabela 5 – Características da água bruta

PARÂMETROS	VALORES
pH	6,22
Temperatura (°C)	25,9
Turbidez (NTU)	343
Cor aparente (mgPt-Co/L)	636
Condutividade Elétrica (µS/cm)	82,8
DQO (mg/L)	73,15
Sólidos Totais (mg/L)	2200
Sólidos Fixos (mg/L)	1800
Sólidos Voláteis (mg/L)	400

Tabela 6 – Caracterização das condições meteorologias

Data	Tmáx (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Prec (mm)	u.r %	ETP (mm)
28/03	20,2	17,7	16,9	6,2	86	1,4
29/03	22,2	10,6	14,8	0,0	95	2,2
30/03	13,5	8,0	11,5	0,0	94	0,6
31/03	18,1	12,0	15,6	23,8	97	0,8
01/04	31,6	18,0	24,8	0,0	62	4,7

Fonte: IAPAR (2015)

Nota:

- (1) prec (mm) = precipitação - a chuva refere-se ao intervalo das 9:00h da véspera até 9:00h da data.
 (2) u.r. (%) = média umidade relativa - a média da umidade relativa refere-se ao dia anterior.
 (3) ETP (mm) = Evapotranspiração Potencial.

Por meio da aplicação da metodologia descrita no item 4.3 foram realizados os ensaios e os resultados obtidos foram organizados da seguinte forma: análise do parâmetro pH (6.1), análise do parâmetro temperatura (6.2), análise do parâmetro turbidez (6.3), análise do parâmetro cor aparente (6.4), análise do parâmetro condutividade elétrica (6.5), análise do parâmetro DQO (6.6) e análise da série de sólidos (6.7).

6.1 pH

A Tabela 7 representa os valores médios brutos de pH da água e a variação deste parâmetro ao longo do tempo, respectivamente. Foram utilizados os valores médios de pH das 3 repetições realizadas no ensaio.

Tabela 7 – Valores médios para o pH ao longo da sedimentação para cada um dos tratamentos realizados

Tratamentos (NTU)	Tempo de sedimentação (minutos)			
	10	20	30	40
C1	6,11	6,17	6,04	6,14
C2	6,11	6,14	6,05	5,77
C3	6,12	6,19	6,05	6,10
C4	6,09	6,19	5,90	6,11
C5	6,02	6,22	6,17	6,13
C6	6,15	6,22	6,17	6,00

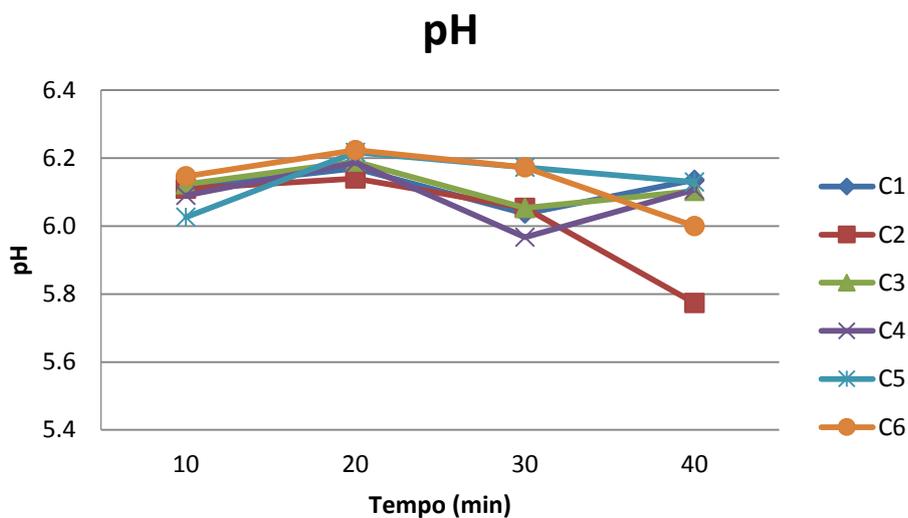


Figura 9 – Valores médios de pH da água tratada observados durante a sedimentação

Considerando o valor de pH da água bruta (6,22), pode-se observar através da Tabela 7 e da Figura 9, que houve uma redução para todas as dosagens testadas ao final do tempo de sedimentação. Os valores de pH apresentaram uma variação na faixa de 6,22 para o valor máximo nos tratamentos C5 e C6 aos 20 minutos e 5,77 para o valor mínimo no tratamento C2 aos 40 minutos. Sendo que grande parte dos valores encontravam-se acima de 6.

Não foi verificada disparidade nos resultados de pH, em relação ao tratamento da *Moringa oleifera* extraída em solução salina (NaCl) e ao tratamento sem adição de sal. Os valores do pH foram mantidos próximos ao valor da água bruta conforme literatura.

Uma das vantagens da utilização deste coagulante natural consiste no fato de não ocorrer alterações significativas nos valores de pH da água tratada (MADRONA, 2010), resultando na facilidade operacional e redução de custo considerando que não há necessidade de correção do pH. Grande parte dos valores obtidos estão em acordo com a determinação da Portaria 2914/2011 para potabilidade da água, que recomenda que o pH da água tratada, no sistema de distribuição, seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

A Tabela 8 representa a análise de variância para o pH, no Tempo 10 minutos. Como o Valor P foi maior que 0,05 (nível de significância), não há diferença significativa entre os tratamentos. A análise de variância foi realizada também para os outros tempos e as tabelas podem ser encontradas no Apêndice A. Observou-se

que não há diferença significativa também para os tratamentos nos tempos 20, 30 e 40 minutos (Valor P > 0,05).

Tabela 8 - Análise de variância para o pH no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,02538	0,005077	0,13506	0,98098
Resíduo	12	0,45107	0,037589		
TOTAL	17	0,47645			

Na Tabela 9 estão apresentadas as comparações de médias para o pH pelo Teste de Tukey. Nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para todos os tempos analisados, apresentando concentrações médias estatisticamente iguais.

Tabela 9 - Comparações de médias para o pH pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.

Tempo 10		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
C1	6,11 a	C1	6,17 a	C1	6,04 a	C1	6,14 a
C2	6,11 a	C2	6,14 a	C2	6,05 a	C2	5,77 a
C3	6,12 a	C3	6,19 a	C3	6,05 a	C3	6,10 a
C4	6,09 a	C4	6,19 a	C4	5,97 a	C4	6,11 a
C5	6,03 a	C5	6,22 a	C5	6,17 a	C5	6,13 a
C6	6,15 a	C6	6,22 a	C6	6,17 a	C6	6,00 a

Nota:

(1) Letras iguais indicam tratamentos iguais.

6.2 TEMPERATURA

A Figura 10 apresenta os valores médios de temperatura para cada tratamento ao longo do período de sedimentação. A Tabela 10 representa os valores médios, mínimos e máximos para cada um dos tratamentos efetuados.

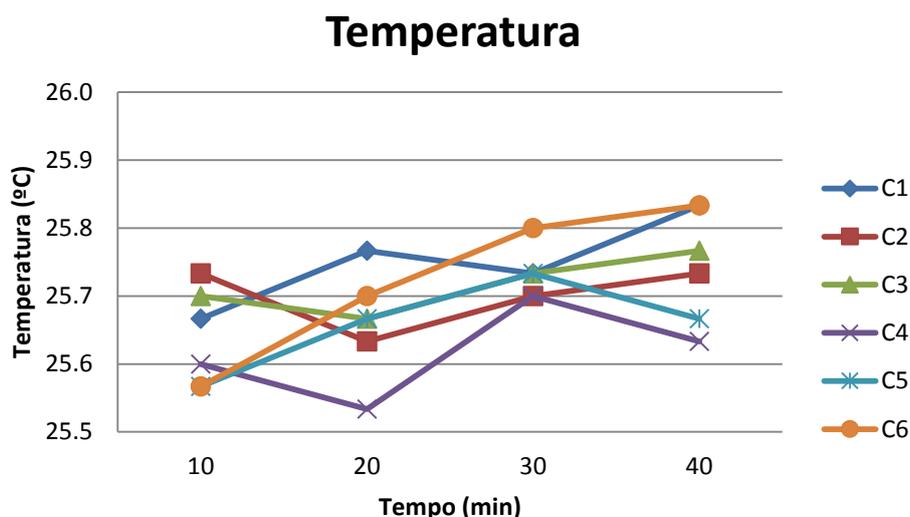


Figura 10 – Valores de temperatura da água tratada observados durante a coagulação/floculação/sedimentação

Tabela 10 – Valores médios, mínimos e máximos para temperatura (°C) em cada um dos ensaios durante o tratamento.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Média	25,75	25,70	25,72	26,60	25,65	25,72
Mínimo	25,66	25,63	25,66	25,53	25,56	25,56
Máximo	25,83	25,73	25,76	25,70	25,73	25,83

Fonte: Autoria Própria

Pode-se observar na Tabela 10 que a temperatura se manteve próxima a temperatura da água bruta (25,9 °C) para todos os tratamentos. Os tratamentos C1 e C6, representados pelos tratamentos com maior concentração de NaCl e pelo tratamento sem adição de NaCl, respectivamente, apresentam a temperatura máxima com 25,83 °C em ambos os casos, demonstrando que para temperatura o sal adicionado não interferiu no processo.

A Tabela 11 apresenta a análise de variância da Temperatura, no Tempo 10 minutos. Como o Valor P foi maior que 0,05 (nível de significância), não há diferença significativa entre os tratamentos. A análise de variância foi realizada também para os outros tempos e as Tabelas podem ser encontradas no Apêndice A. Observou-se que não há diferença significativa também para os tratamentos nos tempos 20, 30 e 40 (Valor P > 0,05).

Tabela 11 - Análise de variância para a temperatura no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,07611	0,015222	0,14891	0,9765
Resíduo	12	1,22667	0,102222		
TOTAL	17	1,30278			

Na Tabela 12 estão apresentadas as comparações de médias para a Temperatura pelo Teste de Tukey. Nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para todos os tempos analisados comprovando a não interferência do NaCl no tratamento para este parâmetro.

Tabela 12 - Comparações de médias para a temperatura pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.

Tempo 10		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
C1	25,67 a	C1	25,77 a	C1	25,73 a	C1	25,83 a
C2	25,73 a	C2	25,63 a	C2	25,70 a	C2	25,73 a
C3	25,70 a	C3	25,67 a	C3	25,73 a	C3	25,77 a
C4	25,60 a	C4	25,53 a	C4	25,70 a	C4	25,63 a
C5	25,57 a	C5	25,67 a	C5	25,73 a	C5	25,67 a
C6	25,57 a	C6	25,70 a	C6	25,80 a	C6	25,83 a

Nota:

(1) Letras iguais indicam tratamentos iguais.

6.3 TURBIDEZ

A Tabela 13 apresenta os valores brutos para o parâmetro em questão ao longo do processo de sedimentação. Foram utilizados os valores médios de turbidez das 3 repetições realizadas no ensaio.

Tabela 13 – Valores médios para turbidez (NTU) ao longo da sedimentação
Tempo de sedimentação (minutos)

Tratamentos (NTU)	10	20	30	40
C1	320,3	108,9	60,2	37,9
C2	308,3	89,9	53,3	30,7
C3	293	116,5	65,9	37,5
C4	272,7	95,8	58,0	34,3
C5	252,0	107,2	62,0	39,9
C6	288,7	144,7	88,2	73,4

Pode-se observar através da Tabela 13 que a maior variação ocorreu no tratamento C2, em que a turbidez da água bruta de 343 NTU reduziu para 30,7 NTU, sendo que o tratamento C6 foi responsável pela menor variação de 343 para 73,4 NTU ao final do tempo de sedimentação.

Com isso, verifica-se que nenhum dos tratamentos para o parâmetro turbidez atenderam o padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº 2914/2011, a qual estabelece o valor máximo permitido de 5 uT (unidade de turbidez) para a água potável. Para que este parâmetro estivesse dentro dos limites exigidos pela legislação, seria necessária a utilização de etapas posteriores ao da coagulação/floculação/sedimentação.

A Figura 11 demonstra os valores médios da eficiência de remoção de turbidez observados para cada um dos tratamentos.

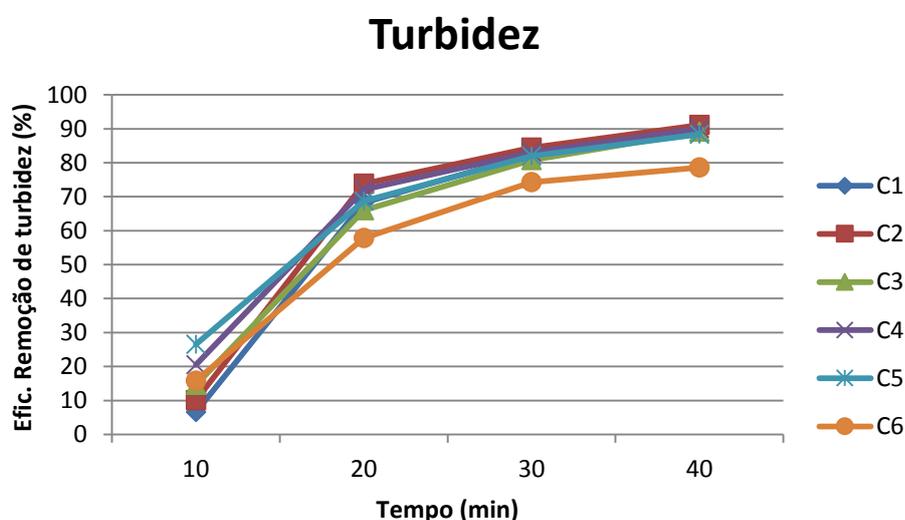


Figura 11 – Redução de turbidez (%) ao longo do processo de sedimentação

Considerando o decorrer da sedimentação o tratamento C2 obteve a maior eficiência de remoção com 91% aos 40 minutos, seguido pelo tratamento C4 com 90%, tratamento C1 e C3 com 89%, tratamentos C5 com 88% e tratamento C6 com 78% (Figura 11).

Okuda et al. (1999) constatou que para a semente de *Moringa oleifera* extraída por meio de uma solução salina NaCl 1M, sua atividade coagulante apresentou uma eficiência 7,4 vezes maior que a solução preparada somente com água destilada, corroborando os resultados deste estudo e evidenciando que os tratamentos à base de NaCl (C1, C2, C3, C4 e C5) são mais eficientes que o tratamento sem NaCl (C6).

Podemos afirmar que a concentração salina influencia positivamente nos percentuais de remoção de turbidez, pois este proporciona a liberação de maior quantidade de proteína encontrada nas soluções e à medida que o nível de proteína aumenta maior é a atividade de coagulação, por conseguinte, melhor é a eficiência de remoção de turbidez (MADRONA, 2010).

A Tabela 14 apresenta a análise de variância para a turbidez, no Tempo 10 minutos. Como o Valor P foi maior que 0,05 (nível de significância), não há diferença significativa entre os tratamentos. A análise de variância foi realizada também para os outros tempos e as tabelas podem ser encontradas no Apêndice A. Observou-se diferença significativa entre os tratamentos apenas para os tempos 30 (Tabela 15) e 40 (Tabela 16) (Valor P < 0,05).

Tabela 14 - Análise de variância para a turbidez no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	9021,8	1804,37	2,3523	0,10435
Resíduo	12	9204,7	767,06		
TOTAL	17	18226,5			

Tabela 15 - Análise de variância para a turbidez no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	2260,3	452,06	3,5209	0,034359
Resíduo	12	1540,7	128,39		
TOTAL	17	3801,0			

Tabela 16 - Análise de variância para a turbidez no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	3641,5	728,30	13,15	0,00016023
Resíduo	12	664,6	55,38		
TOTAL	17	4306,1			

Na Tabela 17 estão apresentadas as comparações de médias para a turbidez pelo Teste de Tukey. Nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os tempos 10 e 20. Para o tempo 30 o tratamento C6 apresentou média estatisticamente superior, o tratamento C2 apresentou média estatisticamente inferior às demais e os tratamentos C1, C3, C4 e C5 apresentaram médias estatisticamente iguais tanto a C2 quanto a C6 e para o tempo 40 apenas o tratamento C6 apresentou média estatisticamente diferente e superior às demais.

Tabela 17 - Comparações de médias para a turbidez pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.

Tempo 10		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
C1	320,33 a	C1	108,93 a	C6	88,17 a	C6	73,40 a
C2	308,33 a	C2	89,87 a	C3	65,90 ab	C5	39,93 b
C3	293,00 a	C3	116,50 a	C5	61,97 ab	C1	37,87 b
C4	272,67 a	C4	95,77 a	C1	60,20 ab	C3	37,50 b
C5	252,00 a	C5	107,20 a	C4	58,03 ab	C4	34,27 b
C6	288,67 a	C6	144,67 a	C2	53,33 b	C2	30,73 b

Nota:

(1) Letras iguais indicam tratamentos iguais.

Portanto, de acordo com a análise estatística (Tabela 17), pode-se afirmar

que, aos 40 minutos, os tratamentos C1, C2, C3, C4 e C5, possuem médias de turbidez estatisticamente iguais entre si e inferiores ao tratamento C6 (sem adição de NaCl), assim, visando a menor utilização de NaCl e conseqüentemente menor custo, o tratamento C5 possui a dosagem ótima para remoção de turbidez.

6.4 COR APARENTE

A Tabela 18 representa os valores brutos para cada um dos tratamentos efetuados ao longo do processo de sedimentação. Foram utilizados os valores médios de cor aparente das 3 repetições realizadas no ensaio.

Tabela 18 – Valores médios para cor aparente ao longo da sedimentação para cada um dos tratamentos realizados

Tratamentos (mgPt-Co/L)	Tempo de sedimentação (minutos)			
	10	20	30	40
C1	525,33	202,00	104,33	61,00
C2	472,00	164,33	89,67	54,00
C3	490,67	223,67	114,33	58,67
C4	471,30	198,00	106,00	64,33
C5	451,67	218,33	112,33	65,33
C6	546,67	324,00	181,33	142,00

Para os 6 tratamentos foram observados eficiência de remoção da cor da água tratada com relação a água bruta (636 mg/L). A maior variação ocorreu no tratamento C2, apresentando uma redução de 636 mg/L da água bruta para 54 mg/L ao final do tempo de sedimentação, sendo que a menor variação ocorreu no tratamento C6, apresentando uma redução de 636 mg/L para 142 mg/L.

Os valores encontrados para o parâmetro cor não atenderam o padrão de potabilidade da água, que deve estar em conformidade a Portaria nº 2914/2011, a qual estabelece o valor máximo permitido para a cor de 15 (mgPt-Co/L). Para que este parâmetro estivesse dentro dos limites exigidos pela legislação, seria

necessária a utilização de etapas posteriores ao da coagulação/floculação/sedimentação.

A Figura 12 relaciona a média de remoção da cor ao longo do ensaio. Foram utilizados os valores médios da cor aparente da água nas 3 repetições efetuadas para obtenção da porcentagem de eficiência.

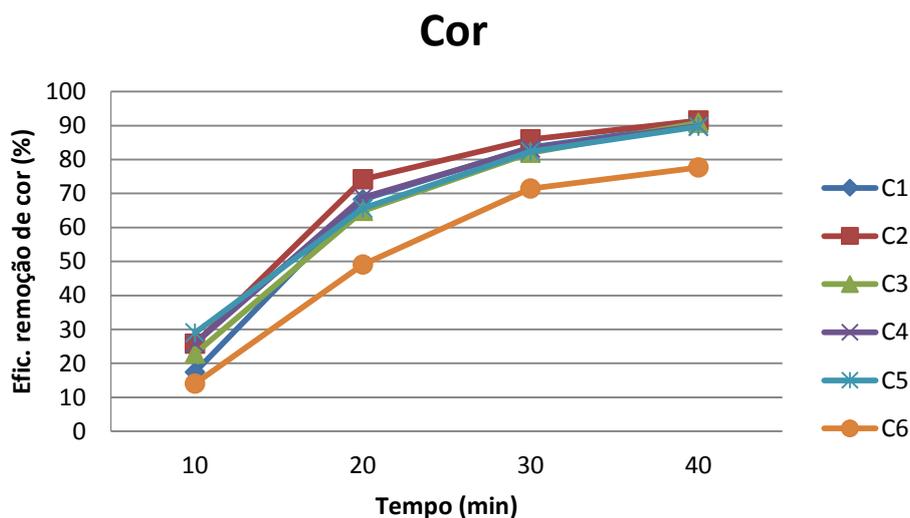


Figura 12– Valores médios da eficiência de remoção da cor obtidos durante a sedimentação

O tratamento C2 apresentou o maior índice com uma eficiência de redução de cor de 91,5% ao final de 40 minutos de ensaio, seguindo pelo tratamento C3 com 91%, os tratamentos C1, C4 e C5 com 90% e o tratamento C6 com 77%.

No início do tratamento (aos 10 minutos da etapa de sedimentação) não houve diferença entre os tratamentos C1 e C6, apresentando uma eficiência de remoção de 17% e 14%, respectivamente. Sendo que, ao final do tempo de sedimentação de 40 minutos, esta diferença aumentou apresentando a eficiência de remoção de 90% para o tratamento C1 e 77% para o tratamento C6. Isto comprova que a capacidade de coagulante está diretamente relacionada com o teor de proteínas liberadas no processo de extração ao longo do tempo de sedimentação, que é mais representativo nos tratamentos com adição de NaCl.

Através das Figura 13 e Figura 14 é possível visualizar a redução de cor no decorrer do ensaio.

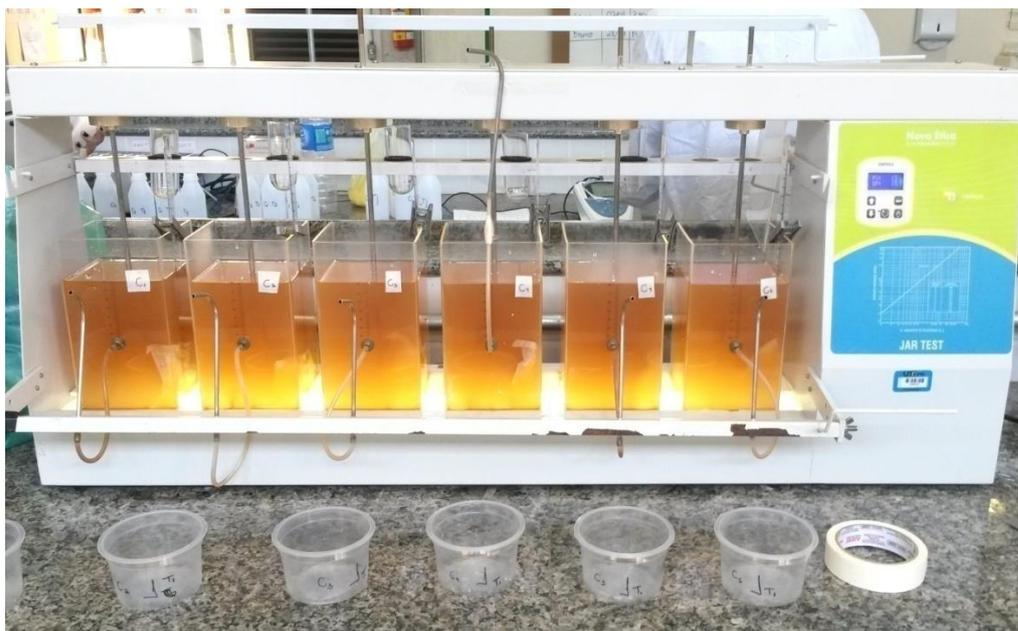


Figura 13–Primeiro ensaio, tempo de coagulação (10 minutos)
Fonte: Autoria Própria.

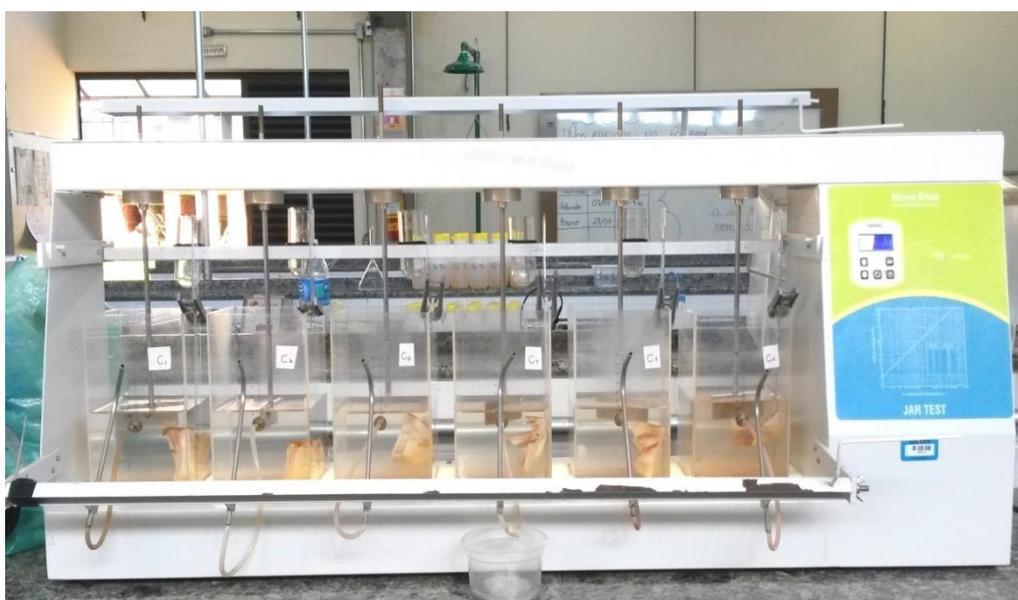


Figura 14 – Primeiro ensaio, sedimentação aos 40 minutos
Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 19 apresenta a análise de variância para a cor, no Tempo 10 minutos. Como o Valor P foi maior que 0,05 (nível de significância), não há diferença significativa entre os tratamentos. A análise de variância foi realizada também para os outros tempos e as tabelas podem ser encontradas no Apêndice A. Observou-se diferença significativa entre os tratamentos apenas para os tempos 30 e 40 (Valor P < 0,05).

Tabela 19 - Análise de variância para a cor no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	19650	3929,9	1,5229	0,25452
Resíduo	12	30967	2580,6		
TOTAL	17	50617			

Tabela 20 - Análise de variância para a cor no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	15570,7	3114,13	10,388	0,00049263
Resíduo	12	3597,3	299,78		
TOTAL	17	19168,0			

Tabela 21 - Análise de variância para a cor no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	16789	3357,8	22,237	1,0994e-05
Resíduo	12	1812	151,0		
TOTAL	17	18601			

Na Tabela 22 estão apresentadas as comparações de médias para a cor pelo Teste de Tukey. Nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os tempos 10 e 20. Para os tempos 30 e 40 apenas o tratamento C6 apresentou média estatisticamente diferente e superior às demais.

Tabela 22 - Comparações de médias para a cor pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.

Tempo 10		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
C6	546,67 a	C6	324,00 a	C6	181,33 a	C6	142,00 a
C1	525,33 a	C3	223,67 a	C3	114,33 b	C5	65,33 b
C3	490,67 a	C5	218,33 a	C5	112,33 b	C4	64,33 b
C2	472,00 a	C1	202,00 a	C4	106,00 b	C1	61,00 b
C4	471,33 a	C4	198,00 a	C1	104,33 b	C3	58,67 b
C5	451,67 a	C2	164,33 a	C2	89,67 b	C2	54,00 b

Nota:

(1) Letras iguais indicam tratamentos iguais.

De acordo com a análise estatística, pode-se afirmar que, aos 40 minutos, os tratamentos C1, C2, C3, C4 e C5, possuem médias de cor estatisticamente iguais entre si e inferiores ao tratamento C6 (sem adição de NaCl), assim, visando a menor utilização de NaCl e conseqüentemente menor custo, o tratamento C5 possui a dosagem ótima para remoção de cor.

6.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Tabela 23 representa os valores médios brutos de condutividade elétrica da água, para cada um dos tratamentos efetuados. Foram utilizados os valores médios da condutividade das 3 repetições realizadas no ensaio.

Tabela 23 – Valores médios para condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) ao longo da sedimentação para cada um dos tratamentos realizados

Tratamentos ($\mu\text{S/cm}$)	Tempo de sedimentação (minutos)			
	10	20	30	40
C1	995,00	1081,67	1096,00	1108,67
C2	792,00	864,33	877,00	894,00
C3	817,67	889,33	907,67	920,00
C4	715,00	759,33	781,00	797,67
C5	718,00	774,00	798,00	816,67
C6	89,47	91,07	92,10	93,70

Verifica-se na Tabela 23 que ao longo do tempo ocorreu uma elevação nos valores de condutividade para os tratamentos C1, C2, C3, C4 e C5 e uma pequena elevação para o tratamento C6 em comparação com a água bruta, que obteve uma condutividade de 82,8 $\mu\text{S/cm}$. Entretanto, após esta elevação, não houve muitas variações ao longo do tempo.

A Figura 15 relaciona a condutividade elétrica ao longo do processo de sedimentação da água tratada.

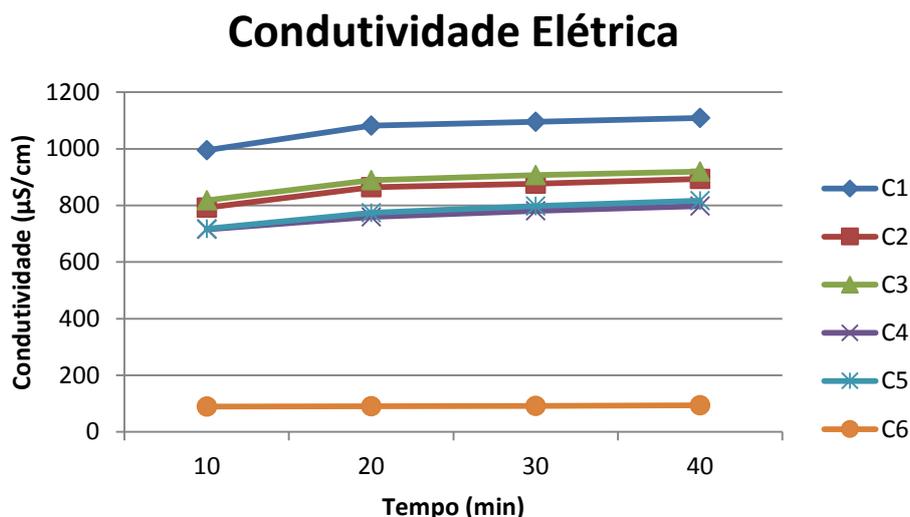


Figura 15 – Média dos valores de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) verificado ao longo do tempo

O tratamento C1 foi o que apresentou valores mais elevados, como pode ser observado na Tabela 18, possuindo uma variação de 995 a 1108,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo o tratamento C6 responsável pelos menores valores, variando entre 89,47 a 93,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esse fato é explicado devido à adição de sal ao coagulante da *Moringa oleifera*, que de acordo com Okuda (1991) provoca a elevação da atividade coagulante devido ao aumento da força iônica no meio que eleva a solubilidade dos compostos ativos responsáveis pela purificação. Quanto maior a quantidade de sal aplicada aos tratamentos, maior sua condutividade do meio.

A Tabela 24 apresenta a análise de variância para a condutividade elétrica, no Tempo 10 minutos. Como o Valor P foi menor que 0,05 (nível de significância), há diferença significativa entre os tratamentos. A análise de variância foi realizada também para os outros tempos e as tabelas podem ser encontradas no Apêndice A. Observou-se diferença significativa entre tratamentos também para os tempos 20, 30 e 40 (Valor P < 0,05).

Tabela 24 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1445248	289050	25,2	$5,64 \times 10^{-2}$
Resíduo	12	137641	11470		
TOTAL	17	1582890			

Tabela 25 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1731224	346245	30,514	$2,00 \times 10^{-2}$
Resíduo	12	136166	1347		
TOTAL	17	1867390			

Tabela 26 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1789064	357813	31,772	$1,60 \times 10^{-2}$
Resíduo	12	135142	11262		
TOTAL	17	1924206			

Tabela 27 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1838631	367726	32,355	$1,45 \times 10^{-3}$
Resíduo	12	136385	11365		
TOTAL	17	1975016			

Na Tabela 28 estão apresentadas as comparações de médias para a condutividade elétrica pelo Teste de Tukey.

Tabela 28 - Comparações de médias para a condutividade elétrica pelo Teste de Tukey, com 5% de significância.

Tempo 10		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
C1	995,00 a	C1	1081,67 a	C1	1096,00 a	C1	1108,67 a
C3	817,6 a	C3	889,33ab	C3	907,67ab	C3	920,00ab
C2	792,00 a	C2	864,33ab	C2	877,00ab	C2	894,00ab
C5	718,00 a	C5	774,00 b	C5	798,00 b	C5	816,67ab
C4	715,00 a	C4	759,33 b	C4	781,00 b	C4	797,67 b
C6	89,47 b	C6	91,07 c	C6	92,10 c	C6	93,70 c

Nota:

(1) Letras iguais indicam tratamentos iguais.

Nota-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para todos os tempos. Para o tempo 10 minutos apenas o tratamento C6 apresentou média estatisticamente diferente e inferior as demais; para os tempos 20 e 30 minutos os tratamentos apresentaram valores estatisticamente diferentes entre si, sendo que o tratamento C1 apresentou média estatisticamente diferente e superior às demais, C2 e C3 apresentaram médias estatisticamente iguais tanto a C1 quanto a C4 e C5 e o tratamento C6 apresentou a média estatisticamente diferente e inferior as demais para ambos os tempos. Para o tempo 40 minutos o tratamento C1 apresentou média estatisticamente diferente e superior e C6 apresentou a média estatisticamente diferente e inferior as demais para ambos os tempos.

6.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A análise de DQO não mostrou muita regularidade nos resultados e alguns indícios indicaram a não confiabilidade da análise. A Tabela 29 representa os valores de absorvância e a porcentagem da eficiência de remoção. A Figura 16 mostra a eficiência de remoção de DQO durante o ensaio.

Tabela 29 – Eficiência de remoção de DQO para os 6 tratamentos ao longo do ensaio

Tratamento	Tempo (min)	Absorbância	mg/L	Eficiência de remoção de QDO (%)
C1	10	0,0430	70,05	4,24
C2		0,0450	69,28	5,30
C3		0,0625	62,49	14,60
C4		0,0425	70,25	4,00
C5		0,0435	69,86	4,50
C6		0,0440	69,66	4,77
C1	20	0,0880	52,61	28,10
C2		0,0522	67,92	7,15
C3		0,0860	53,39	27,02
C4		0,0820	54,94	24,90
C5		0,0685	60,17	17,74
C6		0,0410	70,83	3,20
C1	30	0,0720	58,81	19,60
C2		0,0725	58,62	19,9
C3		0,0395	71,41	2,4
C4		0,0525	66,37	9,3
C5		0,0540	65,79	10,1
C6		0,0400	71,21	2,7
C1	40	0,0885	54,94	24,9
C2		0,1150	44,66	38,9
C3		0,1085	47,18	35,5
C4		0,0750	65,40	10,6
C5		0,0565	72,57	0,8
C6		0,0400	71,21	2,65

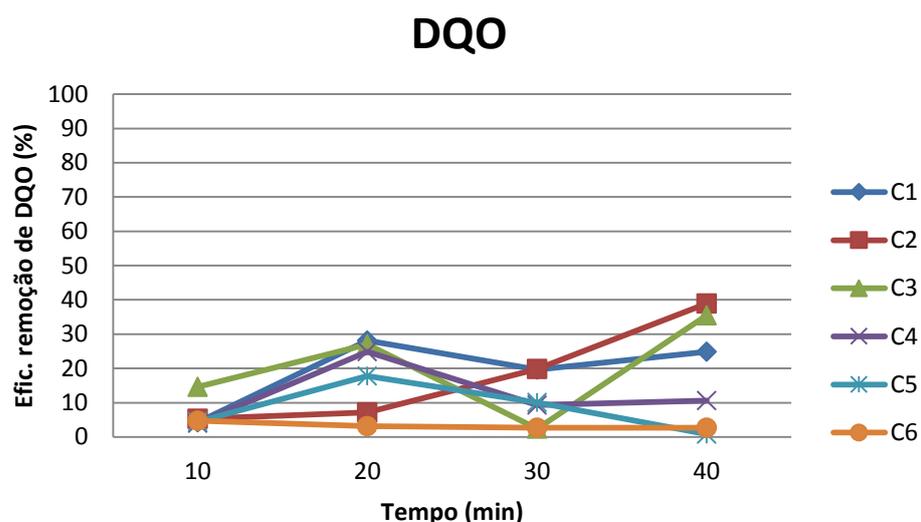


Figura 16 - Redução de DQO (%) ao longo do processo de sedimentação

Pode-se observar na Tabela 29 que as maiores eficiências de remoção de DQO em relação ao valor da água bruta (73,13 mg/L) ao final do ensaio com 40 minutos de sedimentação foram os tratamentos C2e C3, com valores de 38,9 e 35,5%, respectivamente (Figura 16).

O fator que teve maior influência para o aumento da porcentagem de eficiência de remoção da DQO foi o tempo de sedimentação juntamente com a quantidade de NaCl, pois os tratamentos que apresentaram menores porcentagens de remoção foram os com pouca ou nenhuma quantidade de NaCl.

Na Tabela 30 é apresentada a análise de variância para a variável DQO, no tempo 10 minutos. Como o Valor P foi maior que 0,05 (nível de significância), não há diferença significativa entre os tratamentos. A análise de variância foi realizada também para os outros tempos e as tabelas podem ser encontradas em anexo A. Observou-se diferença significativa entre os tratamentos apenas para o tempo 40 (Valor P < 0,05).

Tabela 30 - Análise de variância para a DQO no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	71,45	14,290	0,1645	0,97084
Resíduo	12	1040,87	86,739		
TOTAL	17	1112,32			

Tabela 31 - Análise de variância para a DQO no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	2854,1	570,81	3,6827	0,029847
Resíduo	12	1860,0	155,00		
TOTAL	17	4714,1			

Na Tabela 32 são apresentadas as comparações de médias para DQO pelo Teste de Tukey. Nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os tempos 10, 20 e 30. Para o tempo 40 apenas o tratamento C6 apresentou média estatisticamente diferente e superior, C3 apresentou média estatisticamente diferente e inferior às demais e os tratamentos C1, C2, C4 e C5 apresentaram médias estatisticamente iguais tanto a C6 quanto a C3.

Tabela 32 - Comparações de médias para DQO pelo Teste de Tukey, com 5% de significância

Tempo 10		Tempo 20		Tempo 30		Tempo 40	
Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média	Trat.	Média
C1	74,44 a	C1	56,10 a	C1	67,98 a	C6	80,39 a
C2	74,31 a	C2	72,70 a	C2	59,46 a	C5	75,61 ab
C3	70,18 a	C3	58,42 a	C3	71,47 a	C4	61,78 ab
C4	75,22 a	C4	51,45 a	C4	61,78 a	C2	56,49 ab
C5	75,09 a	C5	68,63 a	C5	64,24 a	C1	53,51 ab
C6	71,08 a	C6	75,74 a	C6	76,38 a	C3	43,95 b

De acordo com a análise estatística, pode-se afirmar que, aos 40 minutos, o tratamento C3 apresentou média de DQO inferior às demais, apresentando a dosagem ótima para a remoção de DQO.

6.7 SÉRIE DE SÓLIDOS

A Figura 17 apresenta os valores da eficiência de remoção dos sólidos totais ao longo do processo de sedimentação. Foram utilizados os valores médios da série de sólidos das 3 repetições realizadas no ensaio.

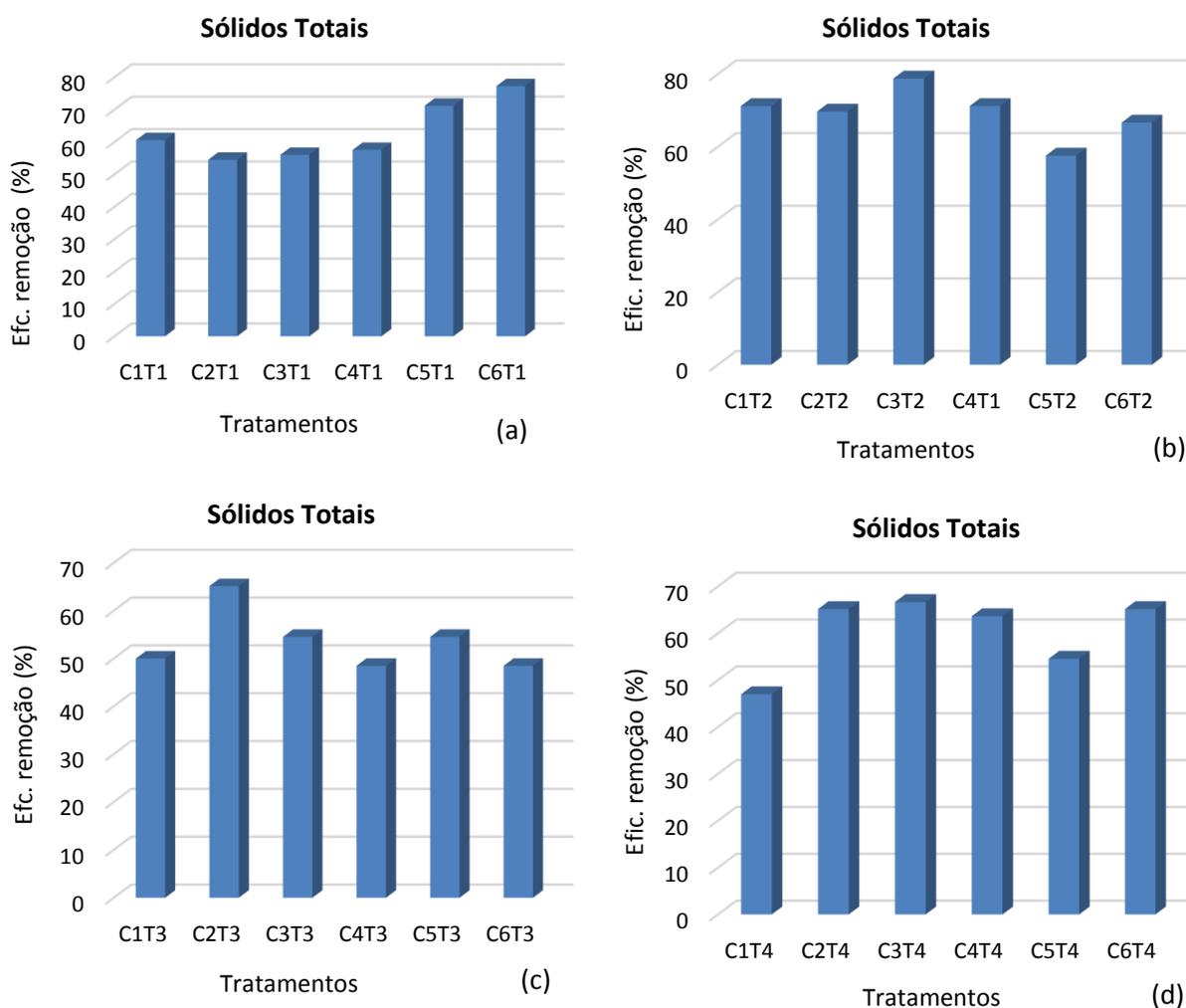


Figura 17– Eficiência de remoção de sólidos totais ao longo de 10 minutos (T1) (a), 20 minutos (T2) (b), 30 minutos (T3) (c) e 40 minutos (T4) (d).

Observa-se pela Figura 17 que no tempo T1, C6 obteve a maior porcentagem de remoção de sólidos totais atingindo valor de 77%, seguidos de C5 com 71%, C1 com 60%, C4 com 57%, C3 com 56% e C2 com 54%.

Já no tempo T2, a maior porcentagem de remoção de sólidos foi obtida com C3 (78%), seguido de C1 e C4 (71%), C2 (69%), C6 (66%) e C5 (57%). Para os tempos T3 e T4 as maiores porcentagens de remoção foram obtidas nos tratamentos C2 (65%) e C3 (66%).

Pode-se observar que houve uma eficiente porcentagem de remoção em todos os tempos de sedimentação, merecendo destaque os tratamentos C2, C3 e C6.

A Tabela 33 apresenta os valores da eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis ao longo do processo de sedimentação após o tempo de 40 minutos. Foram utilizados os valores médios da série de sólidos das 3 repetições realizadas no ensaio.

Tabela 33 – Valores médios (mg/L) e de eficiência de remoção dos sólidos totais, fixos e voláteis (%) aos 40 minutos

Tratamento	Sólidos Totais (mg/L)	Eficiência de Remoção Sólidos Totais (%)	Sólidos Fixos (mg/L)	Eficiência de Remoção Sólidos Fixos (%)	Sólidos Voláteis (mg/L)	Eficiência de Remoção Sólidos Voláteis (%)
C1	1166,7	47,0	666,7	63,0	500,0	-25,0
C2	766,7	65,1	400,0	77,8	366,7	8,3
C3	733,3	66,7	233,3	87,0	500,0	-25,0
C4	800,0	63,6	433,3	75,9	366,7	8,3
C5	1000,0	54,5	666,7	63,0	333,3	16,7
C6	766,7	65,1	466,7	74,1	300	25,0

A *Moringa oleifera* mostrou-se eficiente na remoção de sólidos. Na Figura 17 é possível observar que as maiores eficiência de remoção de sólidos totais ficaram em 66,7% no tratamento C3 (de 2200 mg/L da amostra da água bruta reduziu para 733 mg/L); 87% de sólidos fixos no tratamento C3 (de 1800 mg/L na amostra da água bruta reduziu para 233 mg/L) e 25% de sólidos voláteis no tratamento C6 (de 400 mg/L reduziu para 300 mg/L) (Tabela 33).

Houve um aumento dos sólidos voláteis nos tratamentos C1 e C3 demonstradas pelos valores negativos, esta alteração pode ter sofrido influência do

processo de decomposição da *Moringa oleifera* ao longo do ensaio já que a análise de sólidos se deu alguns dias após o ensaio.

7 CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho mostraram que a utilização de coagulante natural proveniente da semente de *Moringa oleifera* utilizado em solução salina (NaCl) foi eficiente no processo de clarificação da água.

Considerando-se os resultados apresentados nos ensaios aos 40 minutos de sedimentação, observou-se que o tratamento C2, contendo 2,0 g de *Moringa oleifera* e 1,8 g de NaCl, apresentou as maiores eficiências de remoção de cor, turbidez e DQO, 91,5, 91 e 38,9%, respectivamente.

Para parâmetro pH, os valores para todos os tratamentos não obtiveram grandes variações quanto ao valor bruto, permanecendo numa faixa de 6,14 a 5,77, ressaltando uma das vantagens da utilização deste coagulante natural, em que não há necessidade de correção de pH.

Também foi observado que não houve disparidade nos resultados de temperatura, se mantendo próxima a temperatura da água bruta, apresentando temperatura máxima de 25,83°C e temperatura mínima de 25,56°C ao final do tempo de sedimentação.

A adição de NaCl nos tratamentos C1, C2, C3, C4 e C5 resultou em uma elevação dos valores de condutividade elétrica em mais de 10 vezes o valor da condutividade da água bruta, enquanto o tratamento C6 apresentou pouca variação quanto ao valor bruto. No entanto, no decorrer do processo de sedimentação não se observou diferenças significativas entre os tempos fazendo com que o NaCl não influenciasse no processo.

Nas análises da série de sólidos, o tratamento C3 apresentou a maior eficiência, com remoção de 66,7% nos sólidos totais e 87% nos sólidos fixos, já para os sólidos voláteis o tratamento C6 foi responsável pela maior eficiência, com 25%.

Em resumo, quando comparada as concentrações nos tratamentos com adição de NaCl, o tratamento C2 se mostrou por vezes mais eficiente, contudo estatisticamente o tratamento C5 apresentou a concentração ideal, visando a menor utilização de NaCl e conseqüentemente o menor custo.

Apesar da eficiência deste coagulante natural, não recomenda-se a ausência das etapas posteriores ao da coagulação/floculação/sedimentação, com a finalidade de atender os limites de potabilidade da água pela legislação vigente.

O uso da semente de Moringa oleifera com adição de NaCl pode ser considerado vantajoso e promissor no sentido de melhorar os processos de coagulação/floculação no tratamento de água para abastecimento tornando-se uma alternativa mais sustentável e possivelmente complementar aos coagulantes já utilizados no tratamento da água.

REFERÊNCIA

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

ARANTES, Camila C.; RIBEIRO, Tulio A. P.; PATERNIANI, José E. S. Processamento de semente de *Moringa oleifera* utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.6, p.661-666, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a15.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2014.

ARANTES, Camila C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ARANTES, Camila C. **Aplicação de coagulante à base de pó de sementes de *Moringa oleifera* confinado em saches no tratamento de água**. 2014. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

BERGAMASCO, Rosanegla; ARAUJO, A. A.; MADRONA, G. S.; VIEIRA, A. M. S.; SIQUEIRA, M. E. T.; LOURENÇO, B. S. S. Estudo da utilização da *Moringa oleifera* em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-piloto). **Encontro Nacional de Moringa**, Aracaju, Sergipe, 2009. 1 disco laser.

BEZERRA, Antonio Marcos E.; MOMENTÉ, Valéria. G.; MEDEIROS, Sebastião. F. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.295-299, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v22n2/21034.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2014.

BONGIOVANI, Milene C.; VALVERDE, Karina C.; BERGAMASCO, Rosângela. Utilização do processo combinado coagulação/floculação/uf como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a *moringa oleifera* lam. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, 2013, p. 65-76. Disponível em: <http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/559/584>. Acesso em: 21 set. 2014.

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: 12. Out. 2014.

BRASIL. Lei Federal nº 11.455, de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 jan. 2007. Seção 1, p. 3-7. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 12 out. 2014.

CARDOSO, Karina C.; BERGAMASCO, Rosângela; COSSICH, Eneida S.; MORAES, Leila C.K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.30, n. 2, p. 193-198, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>>. Acesso em: 30 Set. 2014.

CORAL, Lucila. A.; BERGAMASCO, Rosângela; BASSETTI, Fátima.J. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. **International Workshop Advances in Cleaner Production**, São Paulo, Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2º ed. São Carlos. Editora: RiMa, 2005.

DI BERNARDO, Luiz; BOTARI, Alexandre; SABOGAL-PAZ, LydaP. Uso de modelação matemática para projeto de câmaras mecanizadas de floculação em série em estações de tratamento de água. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.10, n.1, p.82-90. Jan/mar 2005, 82-90. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a09.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2014.

DI BERNARDO, L., **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v.1, ABES, Rio de Janeiro, 1993.

FERREIRA, Paulo M.P.; FARIAS, Davi F.; OLIVEIRA, José T. A.; CARVALHO, Ana F. U. *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. **Revista Nutrição**. Campinas, v.21, n.431-437, jul/ago.2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rn/v21n4/v21n4a07.pdf>>. Acesso em: 14 de out. 2014.

GALLÃO, Maria. I.; DAMASCENO, Leandro. F.; BRITO, Edy. S. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.37, n.1, p.106-109, 2006. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/224/219>>. Acesso em: 04 out. 2014.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

IBGE. **Atlas de Saneamento**, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.sh>. Acesso em: 12 out. 2014.

LEME, Edson J. A. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: EdUSCar, 2010.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Editora Átomo, 2010.

LO MONACO, Paola. A. V.; MATOS, Antonio. T.; RIBEIRO, Ivan. C. A.; NASCIMENTO, Felipe. S.; SARMENTO, Antover. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como coagulante no tratamento de água para abastecimento e água residuárias. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Journal Biological Chemistry**, v. 193, p. 265-275, 1951.

MACEDO, Jorge A. B. **Águas & Águas**. 3 ed. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG, 2007.

MADRONA, Grasielle Scaramal. **Extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano**. 2010. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Engenharia Química em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MARZZOCO, Anita; TORRES, Bayardo B. **Bioquímica básica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Gen Guanabara, 2014.

MATOS, D.B.; SILVA, P.C.G.; AMARAL, N. A.; SANTANA, C. R.; SILVA, G.F.

Avaliação da atividade coagulante da *Moringa oleífera* lam no tratamento do efluente gerado na produção de biodiesel. **Encontro Nacional De Moringa**, Aracaju, Sergipe, 2010.1 disco laser.

MARTINS, Gilberto A. Estatística Geral e Aplicada. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S. A, p. 237- 238, 2006.

MORETI, Livia O. R.; CAMACHO, Franciele P.; BONGIOVANI, Milene C.; STROHER, Ana Paula; NISHI, Leticia; VIEIRA, Angélica M. S.; BERGAMASCO, Rosângela. Emprego das sementes de *Moringa oleífera* lam, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. **Revista e-xacta**, Belo Horizonte: UniBH, v. 6, n.1, p. 153-164. 2013. Disponível em: <www.unibh.br/revistas/exacta/>. Acesso em: 30 Set. 2014.

NDACIGENGESERE, Anselme; NARASIAH, K. Subba; TALBOT, Brian. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringaoleifera*. **Water Res.** v. 29, n.2, p.703-710.1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>>. Acesso em: 30 out. 2014.

OKUDA, Tetsuji; BAES, Aloysius U. NISHIJIMA, Wataru; OKADA Mitsumasa. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringaoleifera* seed. **Water Res.** v.33, n.15, p.3373-3378. 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135499000469>>. Acesso em: 27 out. 2014.

OKUDA, Tetsuji; BAES, Aloysius U. NISHIJIMA, Wataru; OKADA Mitsumasa. Isolation and characterization of coagulant extracted from *moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Res.** v.35, n.2, p.405-410. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400002906>>. Acesso em: 27 out. 2014.

PATERNIANI, José E. S.; MANTOVANI, Marcia C.; SANT'ANNA, Márcia R. Water treatment by sedimentation and slow fabric filtration using *Moringa oleifera* seeds. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5(11), p. 1256-1263, 4 jun. 2010. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/article/article1380875995_Paterniani%20et%20al.pdf>. Acesso em 13 de out. 2014.

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

da Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/en.php>>.
Acesso em: 30 set. 2014.

PIANTÁ, Cyro A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2008. 78 f. Trabalho de Diplomação – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAMOS, Renata O. **Estudo da clarificação de água natural com turbidez baixa e cor moderada utilizando a solução aquosa obtida com as sementes de *Moringa oleífera* como coagulante**. 2005. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José M. de A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991.

SANTOS, T. M.; BARRETO, M. L.; SANTANA, C. R.; SILVA, G. F. Estudo do tratamento físico químico da água utilizando *Moringa oleífera* Lam em comparação ao sulfato de alumínio. **Encontro Nacional De Moringa**, Aracaju, Sergipe, 2010.1 disco laser.

SANTOS, Nayane A.P. **Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do aeroporto internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução de custos**. 2011. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SERRA, Taciana M.; SILVA, Jhosianna P. V.; SANTOS, Isya Cristini F.; MENEGHETTI, Mario R.; MENEGHETTI, Simoni M. P. WOLF, Carlos R.; GOSSMANN, Marcelo. Obtenção de biodiesel metílico a partir de óleo de *Moringa oleífera* em presença de catalisador básico e ácido. **In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. Águas de Lindóia, 2007. Disponível em:
<<https://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1071-2.pdf>>. Acesso em 14 out. 2014.

SILVA, Gabriela K. **Método alternativo para aplicação do coagulante natural *Moringa oleífera* no tratamento de água**. 2011. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

SNSA, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2012**. 164 p.: il. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=103>>. Acesso em: 02 set. 2014.

SPINELLI, Viviane. A. **Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2001. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82191/201719.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 25 out. 2014.

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

TUNDISI, José G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-33, out./dez. 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400018>. Acesso em: 01 set. 2014.

VERSIANI, Luís C. F. **Caracterização das propriedades coagulantes e adsorventes de íons Cd(II) em soluções aquosas apresentadas por biomateriais derivados da *Moringa oleifera***. 2008. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008. Disponível em: <http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/cp062588.pdf>. Acesso em: 13 de out. 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos e modelagem da água de rios**. Minas Gerais, Belo Horizonte: Editora UMFG, 2007.

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

APÊNCIDE A

Tabela A.1- Análise de variância para o pH no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,02538	0,005077	0,13506	0,98098
Resíduo	12	0,45107	0,037589		
TOTAL	17	0,47645			

Tabela A.2 - Análise de variância para o pH no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,01411	0,002822	0,088286	0,99266
Resíduo	12	0,38360	0,031967		
TOTAL	17	0,39771			

Tabela A.3 - Análise de variância para o pH no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,10043	0,020086	1,0751	0,4213
Resíduo	12	0,22420	0,018683		
TOTAL	17	0,32463			

Tabela A.4 - Análise de variância para o pH no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,29578	0,059157	1,3479	0,30978
Resíduo	12	0,52667	0,043889		
TOTAL	17	0,82245			

Tabela A.5 - Análise de variância para a temperatura no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,07611	0,015222	0,14891	0,9765
Resíduo	12	1,22667	0,102222		
TOTAL	17	1,30278			

Tabela A.6 - Análise de variância para a temperatura no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,08944	0,017889	0,19281	0,95949
Resíduo	12	1,11333	0,092778		
TOTAL	17	1,20278			

Tabela A.7 - Análise de variância para a temperatura no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,02	0,004000	0,077419	0,99457
Resíduo	12	0,62	0,051667		
TOTAL	17	0,64			

Tabela A.8 - Análise de variância para a temperatura no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	0,10444	0,020889	0,17169	0,96819
Resíduo	12	1,46000	0,121667		
TOTAL	17	1,56444			

Tabela A.9 - Análise de variância para a turbidez no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	9021,8	1804,37	2,3523	0,10435
Resíduo	12	9204,7	767,06		
TOTAL	17	18226,5			

Tabela A.10 - Análise de variância para a turbidez no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	5578,5	1115,71	1,6784	0,21413
Resíduo	12	7977,0	664,75		
TOTAL	17	13555,6			

Tabela A.11 - Análise de variância para a turbidez no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	2260,3	452,06	3,5209	0,034359
Resíduo	12	1540,7	128,39		
TOTAL	17	3801,0			

Tabela A.12 - Análise de variância para a turbidez no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	3641,5	728,30	13,15	0,00016023
Resíduo	12	664,6	55,38		
TOTAL	17	4306,1			

Tabela A.13 - Análise de variância para a cor no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	19650	3929,9	1,5229	0,25452
Resíduo	12	30967	2580,6		
TOTAL	17	50617			

Tabela A.14 - Análise de variância para a cor no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	44164	8832,7	2,5475	0,085644
Resíduo	12	41606	3467,2		
TOTAL	17	85770			

Tabela A.15 - Análise de variância para a cor no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	15570,7	3114,13	10,388	0,00049263
Resíduo	12	3597,3	299,78		
TOTAL	17	19168,0			

Tabela A.16 - Análise de variância para a cor no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	16789	3357,8	22,237	1,0994e-05
Resíduo	12	1812	151,0		
TOTAL	17	18601			

Tabela A.17 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1445248	289050	25,2	5,64x10 ⁻²
Resíduo	12	137641	11470		
TOTAL	17	1582890			

Tabela A.18 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1731224	346245	30,514	2,00x10 ⁻²
Resíduo	12	136166	1347		
TOTAL	17	1867390			

Tabela A.19 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1789064	357813	31,772	1,60x10 ⁻²
Resíduo	12	135142	11262		
TOTAL	17	1924206			

Tabela A.20 - Análise de variância para a condutividade elétrica no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1838631	367726	32,355	1,45x10 ⁻³
Resíduo	12	136385	11365		
TOTAL	17	1975016			

Tabela A.21- Análise de variância para a DQO no tempo 10 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	71,45	14,290	0,1645	0,97084
Resíduo	12	1040,87	86,739		
TOTAL	17	1112,32			

Tabela A.22- Análise de variância para a DQO no tempo 20 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	1457,5	291,49	1,5551	0,24552
Resíduo	12	2249,3	187,44		
TOTAL	17	3706,7			

Tabela A.23- Análise de variância para a DQO no tempo 30 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	601,98	120,396	1,3935	0,29426
Resíduo	12	1036,76	86,397		
TOTAL	17	1638,74			

Tabela A.24- Análise de variância para a DQO no tempo 40 minutos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Valor P
Concentrações	5	2854,1	570,81	3,6827	0,029847
Resíduo	12	1860,0	155,00		
TOTAL	17	4714,1			