

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS LONDRINA**  
**CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**BÁRBARA ALDUAN SILVEIRA**

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO COM APLICAÇÃO DA**  
***Moringa oleifera* LÍQUIDA E EM PÓ EM DIFERENTES**  
**CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO SALINA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2017**

**BÁRBARA ALDUAN SILVEIRA**

**TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO COM APLICAÇÃO DA  
*Moringa oleifera* LÍQUIDA E EM PÓ EM DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE SOLUÇÃO SALINA**

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

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina  
Pereira

**LONDRINA**

**2017**



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



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**Tratamento de água de abastecimento com aplicação da *Moringa oleifera* líquida e em pó em diferentes concentrações de solução salina**

por

Bárbara Alduan Silveira

Monografia apresentada no dia 29 de novembro de 2017 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, aprovado com restrições ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Prof. MsC. Adriana Zemiani  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. MsC. Isabela Bruna de T. M. Bolonhesi  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos que derrama todos os dias sobre a minha vida, por ter estado ao meu lado em todos os momentos e principalmente por ter me presenteado com essa oportunidade de pesquisa.

Aos meus pais e irmãos, por todo apoio e compreensão. Por terem estado comigo, enfrentando todas as dificuldades e torcendo pelo meu sucesso. Por aguentarem todas as mudanças de humor, todo estresse, depressão e raiva.

Aos meus amigos, em especial a Leticia e a Gabriella, que passaram por todas as fases da graduação ao meu lado, dividindo as conquistas e as dificuldades, sempre me apoiando e incentivando. Tenho certeza que serão ótimas profissionais e que obterão muito sucesso na profissão que escolheram.

A minha orientadora Profa. Dra. Edilaine muito obrigada pela oportunidade, por ter confiado na minha capacidade, por todo o aprendizado que você me proporcionou, por estar sempre à disposição, ter sido paciente e além de uma orientadora uma grande amiga. Adorei fazer parte da sua equipe e desejo a você todo sucesso.

Agradeço a todos os professores da minha graduação, por todos os ensinamentos e aprendizados dentro e fora da sala de aula. Todos vocês tiveram um papel importantíssimo na minha formação profissional e pessoal. Em especial agradeço a Profa. MsC. Adriana, Profa. MsC Isabela e ao Prof. Dr. Edson por toda ajuda que me deram durante este ano, todo apoio e suporte, sem vocês eu não conseguiria ter feito um bom trabalho.

Aos meus parentes, amigos e amigas que não foram mencionados anteriormente, mas que desempenharam um papel importantíssimo na minha formação e sempre estiveram ao meu lado. Obrigada.

## RESUMO

SILVEIRA, B.A. **Tratamento de água de abastecimento com aplicação da *Moringa oleifera* líquida e em pó em diferentes concentrações de solução salina**. 2017. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Londrina, 2017.

Muitos estudos foram realizados a cerca do tratamento de águas superficiais com uso de coagulantes naturais sendo um desses a *Moringa oleifera*. Estes estudos apontaram a *Moringa oleifera* como um eficiente coagulante natural, que pode ser usado tanto para águas de abastecimento urbano como para águas residuárias, não apresentando riscos a saúde humana. Portanto, este trabalho tem como objetivo comprovar a potencialização da *Moringa oleifera* como coagulante natural, para melhoras as condições de potabilidade da água de abastecimento e verificar a melhor forma de aplicação deste coagulante. A fim de comparar a eficiência da aplicação da semente com solução salina determinou-se os seguintes tratamentos: M1: pó de *Moringa oleifera* em sachês e 24 g de NaCl; M2: pó de *Moringa oleifera* em sachês e 12 g de NaCl; M3: *Moringa oleifera* líquida e 24g de NaCl; M4: *Moringa oleifera* líquida e 12g de NaCl; M5: *Moringa oleifera* em pó sobre dispersão e 24g de NaCl; M6: *Moringa oleifera* em pó sobre dispersão e 12g de NaCl. Os parâmetros analisados foram pH, temperatura, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais, coliformes totais e *Escherichia coli*. Para os parâmetros pH e temperatura observou-se que não obtiveram variações significativas comparadas com o valor bruto no decorrer do ensaio. A solução salina aumentou os valores de condutividade elétrica para todos os tratamentos, porem foram mais evidente nos tratamentos M5 e M6 chegando a atingir  $400\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . O tratamento M4 apresentou os maiores percentuais de remoção para cor aparente, turbidez e sólidos totais chegando a eficiência de remoção de 96,8%, 98,6% e 87,4% respectivamente. A análise de coliformes totais e E. coli comprovou a eficiência do processo de filtração na remoção de microrganismos, evidenciando a importância desta etapa no tratamento de água. As análises estatísticas comprovaram diferenças significativas para os parâmetros cor aparente, turbidez e condutividade elétrica, principalmente para os tratamentos M5 e M6. Diante dos resultados comprova-se a eficiência do coagulante de *Moringa oleifera* em forma líquida com 12g de NaCl para os parâmetros analisados como a melhor opção para o tratamento da água.

**Palavras chave:** *Moringa oleifera*; coagulação; floculação; filtração; NaCl.

## ABSTRACT

SILVEIRA, B.A. **Treatment of water supply with application of *Moringa oleifera* liquid and powder in different concentrations of saline solution**. 2017. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso presented to the course Trabalho de Conclusão de Curso 2 – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Londrina, 2017.

Many studies have been carried out on the treatment of surface water with the use of natural coagulants, one of which is *Moringa oleifera*. These studies have pointed to *Moringa oleifera* as an efficient natural coagulant, which can be used both for urban water supply and for wastewater, posing no risk to human health. Therefore, this work has as objective to prove the potentiation of *Moringa oleifera* as a natural coagulant, to improve the potability of the water supply and to verify the best way of applying this coagulant. In order to compare the efficiency of seed application with saline the following treatments were determined: M1: *Moringa oleifera* powder in sachets and 24 g NaCl; M2: *Moringa oleifera* powder in sachets and 12 g NaCl; M3: *Moringa oleifera* liquid and 24g NaCl; M4: *Moringa oleifera* liquid and 12g NaCl; M5: *Moringa oleifera* powder on dispersion and 24g NaCl. The parameters analyzed were pH, temperature, apparent color, turbidity, electrical conductivity, total solids, total coliforms and *Escherichia coli*. For the parameters pH and temperature it was observed that they did not obtain significant variations compared with the gross value during the test. The saline solution increased the electrical conductivity values for all treatments, but were more evident in treatments M5 and M6 reaching 400mS.cm<sup>-1</sup>. The M4 treatment had the highest percentages of removal for apparent color, turbidity and total solids reaching 96.8%, 98.6% and 87.4% removal efficiency, respectively. The analysis of total coliforms and E. coli proved the efficiency of the filtration process in the removal of microorganisms, evidencing the importance of this step in the treatment of water. The statistical analyzes showed significant differences for the parameters apparent color, turbidity and electrical conductivity, especially for the M5 and M6 treatments. In view of the results, the efficiency of the *Moringa oleifera* coagulant in liquid form with 12 g of NaCl is verified for the analyzed parameters as the best option for water treatment.

**Keywords:** *Moringa oleifera*; coagulation; flocculation, filtration; NaCl

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição genérica dos sólidos totais. ....	22
Figura 2: Folhas (a), vagens (b) e sementes de <i>Moringa oleifera</i> (c). ....	28
Figura 3: Filtro de papel de café Melitta® utilizado para confecção dos sachês ....	31
Figura 4: Sachês confeccionados para o ensaio dos tratamentos T1 e T2. ....	31
Figura 5: Reator estático Jar-Test da marca Nova Ética. ....	33
Figura 6: Sachês acondicionados no interior do recipiente com água. ....	33
Figura 7: Aparato experimental completo, Jar-Test e filtros. ....	35
Figura 8: Procedimentos para análise de Coliformes Totais e E. coli: (a) meio de cultura, (b) amostra a ser analisada misturada com o meio de cultura até homogeneização, (c) transferência da amostra para a plaqueta Quanti-Tray/2000 e (d) seladora Quanti TraySeal. ....	36
Figura 9: Plaqueta Quanti-Tray/2000 na luz ultravioleta depois de 24 horas em estufa. ....	37
Figura 10: Valores de temperatura da água tratada dos seis tratamentos ao longo do tempo ....	40
Figura 11: Valores médios de pH da água analisada ao longo do tempo. ....	41
Figura 12: Valores médios de condutividade elétrica dos tratamentos em função do tempo. ....	43
Figura 13: Valores médio das 3 repetições da eficiência de remoção de turbidez para cada tratamento. ....	46
Figura 14: Valores médios de eficiência de remoção de cor aparente para os seis tratamentos analisados. ....	49
Figura 15: Primeiro ensaio, tempo de sedimentação de 3 minutos. ....	50
Figura 16: Primeiro ensaio, tempo final de sedimentação 33 minutos. ....	50
Figura 17: Eficiência de remoção de sólidos totais ao longo do tempo final de sedimentação–33 min (a) e tempo pós-filtração (b). ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condições de operação das etapas de tratamento. ....	33
Tabela 2: Procedimento de coleta das amostras. ....	34
Tabela 3: Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia. ....	35
Tabela 4: Modelo utilizado para demonstrar os resultados obtidos com a análise de variância. ....	38
Tabela 5: Modelo utilizado para demonstrar os resultados obtidos com o teste de Tukey. ....	38
Tabela 6: Características água bruta. ....	39
Tabela 7: Valores máximos, médios e mínimos para cada um dos tratamentos realizados. ....	39
Tabela 8: Análise de variância para temperatura. ....	40
Tabela 9: Valores médios de pH ao longo da sedimentação e da filtração para cada um dos tratamentos. ....	41
Tabela 10: Análise de variância para o pH nos seis tratamentos. ....	42
Tabela 11: Valores médios de turbidez obtidos nos 3 ensaios. ....	43
Tabela 12: Análise de variância para condutividade elétrica. ....	44
Tabela 13: Teste de Tukey para condutividade elétrica com significância de 5%. ....	44
Tabela 14: Valores médios de turbidez (NTU) ao longo da sedimentação e ao final da filtração. ....	45
Tabela 15: Análise de variância para turbidez. ....	47
Tabela 16: Teste de Tukey para turbidez com significância de 5%. ....	48
Tabela 17: Valores de cor aparente obtidos nas três repetições do ensaio. ....	48
Tabela 18: Análise de variância para cor aparente. ....	51
Tabela 19: Teste de Tukey para cor aparente com significância de 5%. ....	51
Tabela 20: Valores de sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e eficiência de remoção (%) para cada tratamento em função do tempo final de sedimentação e pós – filtração. ....	52
Tabela 21: Número mais provável de coliformes totais e E. coli por 100 mL para as amostras de tempo final de sedimentação e pós-filtração. ....	54
Tabela 22: Análise de variância de coliformes totais e Escherichia coli. ....	55



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
3.1 ÁGUA: IMPORTÂNCIA SOCIAL .....	14
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	16
<b>3.2.1 Coagulação.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.2 Floculação.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.3 Sedimentação.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.4 Filtração.....</b>	<b>19</b>
3.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	20
<b>3.3.1 Cor Aparente.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2 Turbidez.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.3 Sólidos Totais.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.4 Temperatura.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.5 Potencial Hidrogeniônico (pH) .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.6 Condutividade Elétrica.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.7 Coliformes Totais e Escherichia Coli.....</b>	<b>25</b>
3.4 USO DE COAGULANTES: COAGULANTES NATURAIS.....	26
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
4.1 LOCAL DE COLETA E ENSAIO.....	30
4.2 ENSAIO DE LABORATÓRIO .....	30
<b>4.2.1 Pré-Ensaio.....</b>	<b>30</b>

<b>4.2.2 Confeção Dos Saches .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.3 Ensaio.....</b>	<b>32</b>
4.3 PARÂMETROS ANALISADOS.....	35
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
5.1 TEMPERATURA.....	39
5.2 pH.....	41
5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	42
5.4 TURBIDEZ.....	45
5.5 COR APARENTE.....	48
5.6 SÓLIDOS TOTAIS.....	51
5.7 COLIFORMES TOTAIS E E. COLI.....	53
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Entre todos os recursos naturais a água aparece como principal fonte de vida e saúde para a humanidade. A construção de estratégias de preservação dessa rica fonte de vida, tem se tornado a principal discussão entre as nações mais poderosas do mundo, pois não é possível permitir que futuras gerações paguem pelo descaso e degradação do tempo presente (NETO, 2006).

A água é fundamental para todo tipo de vida, por ser um bem finito, sua preservação é imprescindível. Há algum tempo pudemos observar um aumento na degradação desse bem natural, devido a diversos fatores, sendo eles, econômicos, éticos, políticos e sociais (BRUNI, 1993).

Essa preocupação ocorreu na maioria dos países, várias Conferências internacionais foram realizadas para discussão de estratégias que amenizem os problemas causados pela industrialização desenfreada, como a de Estocolmo, em 1972, a Eco-92 ou Rio-92; a Rio+10, em 2002, e a Rio+20, em 2012.

Sabemos que no momento atual, a quantidade e qualidade da água disponível para o consumo estão prejudicadas, portanto a busca por tratamentos alternativos para assegurar a qualidade da água é de extrema importância (SAMPAIO, 2003).

Buscam-se tecnologias de tratamento de água que apresentem características como simplicidade operacional e baixo custo para que sejam implementados em comunidades rurais, onde o próprio usuário é o responsável pela implantação e monitoramento. Sistemas de filtração em múltiplas etapas, filtração lenta e uso de coagulantes naturais como a *Moringa oleifera*, são alguns dos tipos indicados para esta população (ARANTES et al., 2015).

Muitos estudos acerca do tratamento de água superficiais apontam a *Moringa oleifera* como um eficiente coagulante natural, que pode ser usado tanto no tratamento de águas residuárias, como para águas de abastecimento urbano. Pode-se afirmar que o tratamento da água com a *Moringa oleifera* não apresenta riscos à saúde, pois, além de atuar como agente clarificante de águas coloridas e turvas, essas sementes também possuem inúmeros usos na alimentação humana (CARDOSO et al., 2008).

Quando comparamos a eficiência do coagulante natural com coagulantes químicos comumente utilizados nos processos de tratamento de água, a *Moringa oleifera* se destaca, pois, é natural, biodegradável, não provoca problemas de corrosão e não causa alterações significativas no pH e na alcalinidade da água após o tratamento (PEREIRA et al., 2010).

Diante disso, espera-se comprovar a potencialização do uso da *Moringa oleifera* como um coagulante natural com condições adequadas de salinidade, para melhorar as condições de potabilidade da água de abastecimento e ainda verificar a melhor forma de aplicação deste coagulante.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa foi comparar a eficiência entre a *Moringa oleifera* na forma líquida e em pó através do seu estudo em solução salina com diferentes concentrações de NaCl para o tratamento de água de abastecimento.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar da eficiência de redução dos parâmetros de qualidade da água: cor aparente, turbidez, sólidos totais e coliformes totais e *Echerichia coli*;
- Estudar do comportamento dos parâmetros de qualidade da água: pH, condutividade elétrica e temperatura;
- Utilizar solução salina para aumentar a eficiência da *Moringa oleifera* no tratamento da água em conjunto com a solução em pó e líquida do coagulante;
- Comparar os resultados obtidos com a Portaria 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde;
- Comprovar a eficiência do processo de filtração na remoção material em suspensão e microrganismos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ÁGUA: IMPORTÂNCIA SOCIAL

Á água é um dos bens mais preciosos do nosso planeta, é necessária para a sobrevivência de todo tipo de vida, sendo de extrema importância a preservação desse bem que a cada dia está mais escasso para o consumo. Contudo, de forma preocupante, a água do planeta tende a escassear em virtude do crescimento demográfico, da urbanização, da expansão da agricultura e do grau de industrialização, o que vem gerando expectativas de acirramento da disputa por esse recurso e uma crise de abastecimento em dimensões mundiais (REYMÃO E SABER<sup>1</sup> apud LUCENA et al. 2013).

Um dos maiores intensificadores do problema de qualidade da água é o desenvolvimento econômico. Principalmente em países em desenvolvimento onde o crescimento industrial ainda se encontra em andamento, não se leva em consideração os cuidados com o meio ambiente e com a água, onde muitas vezes acontece o lançamento de efluentes industriais e resíduos diretamente nos corpos d'água sem nenhum tratamento (MENDES E COELHO, 2007).

Quando se pensa na utilização da água para consumo humano, vemos que a qualidade é um aspecto indispensável, por isso o seu uso sofre constantes restrições em função dos prejuízos que as ações naturais e antrópicas têm causado nos rios que abastecem os centros urbanos (SOUZA ET AL., 2014)

De acordo com Souza et al. (2014), a importância da água não está relacionada somente as suas funções na natureza, mas também ao seu importante papel na saúde, economia e qualidade de vida humana. Em um ponto de vista cultural, a água exerce importância no crescimento das civilizações, como por exemplo, as civilizações mesopotâmicas e egípcias que se desenvolveram ao longo dos rios Tigre e Eufrates e o rio Nilo.

---

<sup>1</sup>REYMÃO, A. E.; SABER, B. A. Acesso à água tratada e insuficiência de renda duas dimensões do problema da pobreza no Nordeste Brasileiro sob a óptica dos objetivos de desenvolvimento do milênio. **Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, Barcelona, v. 12, p. 1-15, out. 2009.

Existem leis que asseguram a proteção e o uso sustentável dos rios, como por exemplo, a Lei Federal nº 9.433 de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, assegurando a toda população atual e futura a disponibilidade de água com padrões adequados ao seu consumo, pois países em desenvolvimento apresentam alta taxa de doenças ocasionadas pelas precárias condições de saneamento básico e má qualidade da água. Podemos citar entre as doenças mais comuns, a diarreia, a poliomielite, a cólera, a hepatite A, entre outras, que podem ocasionar altas taxas de mortalidade.

A preocupação em cuidar das águas é uma constante em todas as esferas científicas e governamentais, além de ser um bem econômico, utilizada na agricultura, na indústria, na pecuária, é mundialmente considerada como uma fonte importantíssima de abastecimento para consumo humano, por isso um tratamento adequado é mais do que simplesmente importante (BONGIOVANI, 2010).

Os dados do censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), apontam que somente 27,8% da população rural brasileira possuem acesso à rede geral de abastecimento de água (ARANTES, et al., 2015).

Todo ser humano tem o direito de acesso a água tratada e potável, o que garante a Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, por isso, mesmo que a região seja de baixa renda e não se tenha condições de implantar um sistema de tratamento tradicional, pode-se utilizar formas alternativas para esse tratamento.

Freitas, Brilhante e Almeida (2001) acrescentam que o interesse público a cerca da garantia da qualidade da água tem aumentado nos mais diversos setores, estando motivados para a elaboração de modelos de gestão e uso, capazes de compatibilizar as demandas crescentes com o problema da escassez do produto a qualidade desejada.

Diante das condições de saneamento atuais no Brasil, a necessidade de buscar uma universalização desses serviços e aumentar a qualidade dos mesmos é um fator importante para melhorar a qualidade de vida, saúde e bem estar dos brasileiros e a tornar o meio ambiente mais saudável.

## 3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

### 3.2.1 Coagulação

O processo de coagulação utiliza espécies químicas, os coagulantes, que promovem a desestabilização das partículas. Consiste na adição de coagulante, visando desestabilizar impurezas encontradas na água e promover o aumento das partículas facilitando o processo de floculação (HELLER E PÁDUA, 2010). O processo é muito rápido e é realizado dentro da estação de tratamento de água, na unidade de mistura rápida.

Este processo depende principalmente das características da água e das impurezas presentes na mesma, que podem ser conhecidas por meio dos parâmetros de pH, cor verdadeira, alcalinidade, turbidez, condutividade elétrica, potencial zeta, tamanho e distribuição das partículas em suspensão ou em estado coloidal (DI BERNARDO, 2005).

Segundo Nunes (2012) no processo de coagulação acontece a mistura do coagulante com a água para tratamento provocando a hidrólise, polimerização e a reação com a alcalinidade, formando assim hidróxidos denominados gel, produzindo íons positivos. Os íons serão responsáveis por desestabilizar as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, reduzindo o potencial zeta a um ponto próximo de zero, permitindo a aglomeração das partículas e formação de flocos.

O emprego de sais orgânicos como coagulantes é comum, os agentes de coagulação mais utilizados são os sais de ferro e alumínio. Os coagulantes orgânicos são também aceleradores ou promotores de floculação (PIANTÁ, 2008).

A dispersão do coagulante na água bruta é realizada no processo de mistura rápida e devem ser levados em conta os parâmetros de tempo de detenção e gradiente de velocidade. Valores incorretos destes parâmetros podem afetar o processo de forma negativa (HELLER E PÁDUA, 2010).

O processo de coagulação está presente na quase totalidade das tecnologias de tratamento. A eficiência deste processo no tratamento de água influi no desempenho



das etapas de tratamento posteriores, favorecendo a qualidade microbiológica da água, reduzindo o custo do metro cúbico de água tratada e aumentando a duração das carreiras dos filtros (LIBÂNIO, 2010).

Depois que as partículas são desestabilizadas ocorre a floculação, essas partículas são submetidas a choques entre si que faz com que se unam umas as outras formando flocos passíveis de remoção por filtração e/ou sedimentação.

### 3.2.2 Floculação

Segundo Libânio (2010), como a floculação esta intrinsecamente ligada à coagulação é difícil dizer quando que ela passou a ser uma etapa integrante do processo de tratamento de água para consumo humano. Os registros encontrados se reportam ao emprego da coagulação associada à sedimentação, em muitos casos na ausência da filtração, objetivando melhorar o aspecto estético das águas naturais.

As reações químicas que se iniciam na unidade de mistura rápida possibilitam que as partículas encontradas na água possam se aglomerar. O processo de floculação ocorre após a coagulação, onde o efluente passa para um tanque de mistura lenta. Ele consiste na aglomeração das partículas desestabilizadas através de colisões provocadas por seu próprio movimento e seus sistemas apresentam duas classificações: hidráulicos ou mecanizados. Nesta unidade não ocorre a remoção das partículas, a finalidade é apenas acondicionar esta água e encaminhá-la aos sedimentadores (HELLER E PÁDUA, 2010).

A formação dos flocos ocorre nos floculadores, onde as partículas previamente desestabilizadas recebem agitação controlada para que se aumente a probabilidade de ocorrência dos choques. O processo de floculação baseia-se em dois mecanismos complementares: adesão e transporte. A adesão está relacionada às cargas superficiais das partículas, que devem sofrer alteração no processo de coagulação para que os choques sejam efetivos. O transporte refere-se à agitação introduzida ao meio e o mesmo pode ser dividido em outros três: movimento do fluido (floculação ortocinética),

movimento Browniano (floculação pericínética) e sedimentação diferencial (SANTOS et al., 2004).

De acordo com Nunes (2012) para haver formação de flocos grandes e com densidade para uma boa sedimentação, o tempo de agitação no tanque deve ser em torno de 30 minutos, essa boa formação ocorre quando se utiliza da dosagem adequada de coagulante e do tipo de coagulante.

A eficiência das fases de coagulação e floculação pode ser avaliada pelo consumo de coagulante e pela turbidez da água decantada (RICHTER E NETTO, 1991).

### 3.2.3 Sedimentação

O processo de sedimentação, também conhecido como decantação, é a penúltima etapa no tratamento e também a mais comum. É um fenômeno físico que consiste na remoção das partículas em suspensão de maneira natural utilizando-se das forças gravitacionais, onde as partículas se separam por possuírem uma densidade superior a da água.

A decantação juntamente com a flotação, é uma operação unitária que traduz a eficiência das etapas anteriores (coagulação e floculação), nesta etapa do processo os flocos formados anteriormente recebem condições que os permitam depositar utilizando a ação da gravidade (LIBÂNIO, 2010).

A sedimentação simples tem como vantagem o menor custo de operação, uma vez que pode prescindir dos produtos químicos utilizados na coagulação e das unidades de mistura rápida e floculação (HELLER E PÁDUA, 2010). Porém, este procedimento não é capaz de remover impurezas contidas nas águas naturais que se apresentam em estado coloidal. Estas partículas necessitam passar antes por um processo de aglomeração para formar flocos com maior densidade do que a água, permitindo sua posterior deposição no fundo do decantador (PIANTÁ, 2008).

Quando os sólidos sedimentáveis são muito consideráveis, podendo ser recolhidos sem coagulação, a decantação é dita simples ou primaria (NUNES, 2012).

Segundo Richter e Netto (1991) as partículas que não são removidas na sedimentação, seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água, deverão ser removidas por filtração.

### 3.2.4 Filtração

A filtração constitui o processo que tem como função principal a remoção das partículas responsáveis pela cor e turbidez, cuja presença tem a capacidade de reduzir a eficácia da desinfecção na inativação de microrganismos patogênicos. Nas estações de tratamento comuns, cabe a filtração provavelmente a função mais relevante do processo, pois é na qual as falhas dos processos anteriores – coagulação, floculação e sedimentação – podem ser corrigidos, assegurando a qualidade da água que esta sendo tratada (LIBÂNIO, 2010).

A filtração consiste em fazer a água atravessar uma camada de material poroso, onde haverá a remoção de material particulado em suspensão de acordo com o diâmetro dos poros (MACÊDO, 2007).

É o processo de separação líquido – sólido que envolve fenômenos físicos, químicos e até mesmo biológicos. Seu objetivo é remover partículas impuras da água por meio da passagem em um meio poroso. A velocidade com que a água atravessa o filtro identifica se a filtração é rápida ou lenta. Se a velocidade do meio filtrante é baixa o filtro é lento, se a velocidade do meio filtrante é elevada, então o filtro é rápido (DI BERNARDO, 2005).

As características físicas e químicas das partículas são influenciadoras dos complexos mecanismos responsáveis pela remoção das mesmas durante a filtração com ação da profundidade. A filtração é considerada como resultado da ação de três mecanismos: transporte, aderência e desprendimento (DI BERNARDO, 2005).

A produção de água que atenda consistentemente ao Padrão de Potabilidade requer a filtração, pois somente nesta etapa que são removidas quase em toda totalidade as partículas coloidais suspensas e microrganismos em geral, de forma que a desinfecção final seja efetiva (DI BERNARDO, 1995).

### 3.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, físicos, químicos e biológicos, que traduzem suas principais características. Os parâmetros abordados podem ser utilizados tanto para caracterizar águas de abastecimento, águas residuárias, mananciais e corpos receptores. É importante esta visão integrada da qualidade da água, sem uma separação entre as suas diversas aplicações (VON SPERLING, 2005).

Referente à qualidade da água tratada, no Brasil, a legislação vigente é a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Nessa portaria estão estabelecidos valores máximos permitidos de parâmetros que precisam ser respeitados para toda a água de abastecimento humano em todo o território nacional.

#### 3.3.1 Cor Aparente

A cor é responsável pela coloração da água e constituída pelos sólidos dissolvidos, que podem tanto ter origem natural como antropogênica. A origem natural é através da decomposição da matéria orgânica de principalmente vegetais e pela presença de ferro e manganês, ela não apresenta riscos a saúde humana, porém a coloração da água contendo matéria orgânica dissolvida responsável pela cor pode gerar produtos potencialmente cancerígenos. A origem antropogênica vem de resíduos industriais e esgoto doméstico, podendo conter ou não toxicidade (VON SPERLING, 2005).

O parâmetro cor possui duas características, a cor aparente e a cor verdadeira. Águas superficiais aparentam ter cor devido ao material em suspensão, esta é a coloração tida como aparente, porque é como o ser humano vê, porém, esta coloração

se deve a reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão que são responsáveis pela turbidez (MACÊDO, 2007).

### 3.3.2 Turbidez

Segundo Von Sperling (2005), a turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva a mesma. Os sólidos em suspensão são os responsáveis pela turbidez na água e podem vir, tanto de origem natural, através de partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos, como de origem antropogênica, por meio de despejos domésticos e industriais, microrganismos e erosão.

A turbidez de origem natural não traz inconvenientes sanitários diretos, além de ser esteticamente desagradável, porém os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos. Já a turbidez de origem antropogênica pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos, sendo prejudiciais a saúde humana (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Libânio (2010), a determinação da turbidez vem sendo considerado um parâmetro de fundamental importância de quase totalidade das estações de tratamento de água do Planeta.

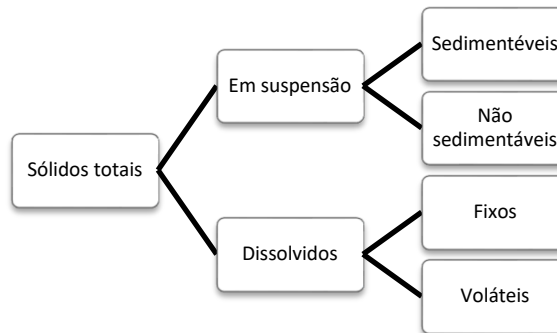
No Brasil, em regiões com solo erodível a turbidez dos corpos d'água é elevada, pois as precipitações podem carrear partículas de silte, areia, argila, óxidos metálicos de solo e fragmentos de rocha. Em decorrência disso, das características geológicas das bacias de drenagem e do uso para as práticas agrícolas muitas vezes inadequadas, grande parte das águas dos rios brasileiros é naturalmente turva (LIBÂNIO, 2010).

Na Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, encontra-se como valor máximo permitido para águas subterrâneas 5 uT (unidade de turbidez), para água filtrada por filtração rápida 0,5 uT e água filtrada por filtração lenta 1,0 uT.

### 3.3.3 Sólidos Totais

Sólidos totais é um parâmetro associado à turbidez e pode ser dividido em dois grupos e quatro subgrupos, conforme Figura 1:

**Figura 1: Distribuição genérica dos sólidos totais.**



**Fonte: Elaborado pela autora.**

As frações de sólidos podem ser definidas como (Piveli e Kato, 2006):

- Sólidos totais: resíduos após evaporação em banho-maria e posterior secagem;
- Sólidos suspensos: massa com dimensões superiores a 1,2 $\mu$ m retida após filtração;
- Sólidos voláteis: porção de sólidos totais, dissolvidos ou suspensos que se volatiliza após calcinação;
- Sólidos fixos: porção que resta após a calcinação dos sólidos totais, dissolvidos ou suspensos;
- Sólidos sedimentáveis: porção de sólidos que se sedimenta quando mantida em repouso em cone Imhoff de um litro por uma hora.

A determinação da concentração de sólidos não é comumente realizada nas estações de tratamento por causa da morosidade das análises, dos equipamentos utilizados e a menos precisão para concentrações pequenas, sendo assim, substituídas pelas análises de cor, verdadeira e aparente, e turbidez (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com a Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido do padrão de potabilidade para sólidos totais dissolvidos é de 1000 mg L<sup>-1</sup>.

### 3.3.4 Temperatura

De acordo com Libânio (2010), a temperatura da água e dos fluidos em geral, indica a magnitude da energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de transferência de calor à massa líquida. As alterações de temperatura das águas naturais decorrem em especial da insolação, estando influenciada diretamente pelo clima e latitude, e quando de origem antrópica, a lançamentos de despejos industriais – águas de caldeiras e/ou de refrigeração.

Segundo Von Sperling (2005) a temperatura consiste na medição da intensidade de calor, tanto pelos processos de radiação, condução e convecção entre a atmosfera e o solo, quanto pelo derramamento de águas de torres de resfriamento e despejos industriais. Os problemas causados pelo aumento da temperatura são: diminuição da solubilidade dos gases, aumento da taxa de transferência de gases e aumento da taxa das reações físicas, químicas e biológicas.

O ecossistema aquático é adaptado apenas a pequenas variações de temperatura da água, porque o alto calor específico da água ( $1 \text{ Cal/g} \times ^\circ\text{C}$ , a  $14,5^\circ\text{C}$ ), o transforma em excelente regulador térmico (MACÊDO, 2007).

### 3.3.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Representa a concentração de íons de hidrogênio indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa total de pH é de 0 a 14. Os constituintes responsáveis são os sólidos e gases dissolvidos, de origem natural vindo da dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese. E de origem antropogênica resultantes de despejos domésticos e industriais (VON SPERLING, 2005).

De acordo com a Portaria 2.914 de 2.011 do Ministério da Saúde a faixa de valor máximo permitido é de 6,0 a 9,5. Sendo que águas com  $\text{pH} < 7$  apresentam condições ácidas,  $\text{pH} = 7$  indica neutralidade e  $\text{pH} > 7$  apresentam condições básicas.

Trata-se do parâmetro de maior frequência de monitoramento na rotina operacional das estações de tratamento de água pela interferência em diversos processos e operações unitárias, desde a aplicação de coagulantes ao processo de desinfecção química (LIBÂNIO, 2010).

O pH é um parâmetro importante em diversas etapas do tratamento de água, como coagulação, desinfecção, controle da corrosividade e remoção da dureza. Utilizado também na caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas, águas residuárias e no controle da operação de estações de tratamento de água e esgoto.

### 3.3.6 Condutividade Elétrica

Segundo Di Bernardo (2005) a condutividade elétrica depende da quantidade de sais dissolvidos na água, sendo aproximadamente proporcional à sua quantidade. A sua determinação permite estimar de modo rápido a quantidade de sólidos totais dissolvidos.

Ela indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions. Soluções onde apresenta condutividade elétrica elevada encontra-se a presença da maioria dos compostos inorgânicos e quando a condução de corrente elétrica é reduzida encontra-se compostos orgânicos que não se dissociam em soluções aquosas (LIBÂNIO, 2010).

A condutividade das águas superficiais e subterrâneas também varia bastante, podendo ser baixa com valores de  $50 \text{ micromhos.cm}^{-1}$  e variando até  $50.000 \text{ micromhos.cm}^{-1}$ , que é a condutividade encontrada na água do mar (MACÊDO, 2007).

De acordo com Libânio (2010), embora condutividade elétrica não seja um parâmetro integrante do padrão de potabilidade brasileiro e somente monitorado por estações de tratamento de grande porte, trata-se de um importante indicador de eventual lançamento de efluentes por relacionar-se à concentração de sólidos totais dissolvidos.



Dentre os parâmetros que serão analisados neste trabalho, a condutividade elétrica não é considerada um parâmetro de potabilidade, portanto não é mencionada na Portaria 2.914/2.011.

### 3.3.7 Coliformes Totais e Escherichia Coli

Dentre as impurezas presentes na água encontram-se organismos que conforme sua natureza apresentam grandes significados para os sistemas de abastecimento de água. Alguns desses organismos, como bactérias e protozoários, são patogênicos, causadores de doenças e epidemias (RICHTER E NETTO, 1991).

As bactérias do grupo coliformes habitam o trato intestinal dos animais de sangue quente. Portanto são consideradas indicadores da contaminação de uma amostra de água por fezes. Essas bactérias possuem diversas características que explicam o emprego das mesmas como indicadores microbiológicos de qualidade da água, uma delas refere-se ao fato de que a quantidade eliminada diariamente por um indivíduo é elevada facilitando assim a detecção de contaminação por esgoto em amostras de água bruta e a possibilidade da presença de patogênicos a estes associados (LIBÂNIO, 2010).

Entretanto nem toda água que contenha coliformes é contaminada e, portanto, podem veicular doenças de transmissão hídrica. O número de coliformes é expresso pelo número mais provável (NMP), que representa a quantidade mais provável de existência de coliformes em 100 ml de água amostrada (RICHTER E NETTO, 1991).

Segundo Franco e Landgraf (2002) o principal indicador de coliformes fecais é a *Escherichia coli*, comumente conhecida como *E. coli*. Ela é um coliforme termotolerante e apresenta uma característica que a distingue dos demais coliforme e enterobactérias, que é a capacidade de fermentar a lactose em temperaturas de 44 - 45° C (ROMPRE ET AL., 2002).

As amostras que apresentem resultado positivo para coliformes totais devem ser posteriormente analisadas para coliformes termotolerantes ou *E. coli* para que

assim haja confirmação dos resultados positivos e da presença de contaminação fecal na água analisada (BRASIL, 2004).

A análise de coliformes é realizada pelos sistemas de tratamento indicando a eficiência do processo, segundo a Portaria 2.914 de 2.011 do Ministério da Saúde em uma amostra de 100 ml de água tratada destinada a consumo humano não pode haver presença de coliformes totais.

### 3.4 USO DE COAGULANTES: COAGULANTES NATURAIS

Com o desenvolvimento da humanidade, percebeu-se a necessidade de tratar a água antes de ser consumida. Durante anos os processos de tratamento vêm sendo aprimorados. Uma das grandes descobertas durante esse processo foi que ao adicionar-se produtos químicos a água, a mesma se tornava mais limpa.

O objetivo de se empregar o uso de coagulantes no tratamento de água é para que ele produza precipitado, espécies hidrolisadas, e também por ser capaz de desestabilizar as partículas suspensas presentes no corpo d'água. São também aceleradores ou promotores da floculação. Segundo Nunes (2012):

*Para se obter a floculação, lança-se mão de coagulantes químicos, como os sais de alumínio e de ferro, que reagem com a alcalinidade contida ou adicionada nas águas residuárias, formando hidróxidos que desestabilizam colóides, partículas em suspensão, etc, pela redução do seu potencial zeta a valores próximos de zero, denominados ponto isoelétrico (NUNES, 2012).*

Os sais metálicos e alguns polieletrólitos são alguns dos coagulantes que teve seu uso aumentado nos últimos tempos em tratamento físico-químico de águas de abastecimento. Entre os sais metálicos mais utilizados como coagulantes no tratamento de esgoto e água estão o alumínio e o ferro. Embora sejam bons coagulantes, sua concentração residual em águas tratadas tem causado uma grande preocupação (SILVA, AQUINO E SANTOS, 2007).

Segundo Silva, Aquino e Santos (2007), pesquisas apontam certas desvantagens na utilização de coagulantes químicos, como, problemas de saúde causados pelo alumínio residual presente em águas tratadas, um grande volume de lodo produzido durante o processo de tratamento e também o consumo da alcalinidade do meio que acarreta custos adicionais com produtos químicos utilizados para a correção do pH.

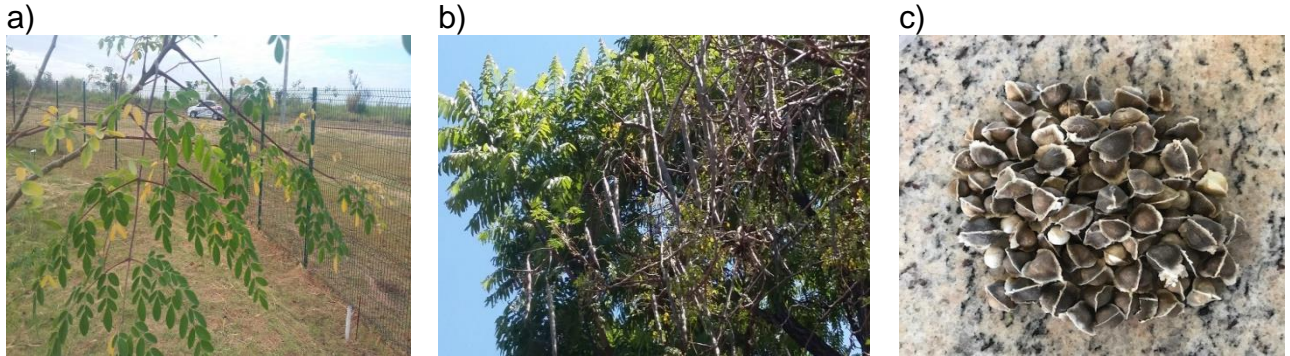
Indústrias químicas e petroquímicas do Brasil e da Europa estão empregando polímeros de origem animal, no lugar do sulfato de alumínio e outros metais durante o processo de coagulação em estações de tratamento. Esta alternativa poderia significar maior eficiência no processo de coagulação e floculação, assim como solucionaria os problemas decorrentes do uso de metais com relação ao seu descarte (PIANTÁ, 2008).

De acordo com Kawamura (1991) coagulantes naturais apresentam inúmeras vantagens em relação aos coagulantes químicos, pois são biodegradáveis e não tóxicos, e ainda produzem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais.

Um dos coagulantes naturais utilizados atualmente é a *Moringa oleifera*. Trata-se de uma árvore originária do Nordeste da Índia e cultivada por diversos povos do oriente por possuir um alto valor alimentar, medicinal, industrial além de sua aplicabilidade no tratamento de água para o consumo humano (CRUZ et al. 2010). O uso dessa semente no processo de purificação da água constitui uma alternativa de tratamento de baixo custo e de relevância que já é utilizado na África, Ásia e Índia (LIMA et al., 2010).

É uma planta que apresenta diversos usos, as folhas, as vagens e as sementes (Figura 2) são aproveitadas na alimentação humana e de forma medicinal. Suas sementes também produzem óleo que pode ser usado tanto na alimentação como na produção de cosméticos e sabão (MENDES E COELHO, 2007).

**Figura 2: Folhas (a), vagens (b) e sementes de *Moringa oleifera* (c).**



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo Lima et al. (2010) esta planta necessita de poucos tratos culturais para se desenvolver e cresce rapidamente, podendo alcançar uma altura de 4,0 metros no primeiro ano e com condições favoráveis, uma única planta chega a produzir de 50 a 70 quilos de frutos por ano.

De acordo com Cruz et al (2010), o óleo da semente de moringa possui uma qualidade comparável ao óleo de oliva, muitos estudos estão sendo feitos com o objetivo de aproveitar a torta de moringa, que é um coproduto da produção do óleo, a fim de agregar maior valor à cultura da *Moringa oleifera*.

No Brasil, seu uso foi incentivado principalmente no nordeste brasileiro, devido à necessidade de melhoria de saúde pública da região, e também ao desenvolvimento econômico-social (MENDES E COELHO, 2007).

De acordo com Serpelloni et al. (2010) a *Moringa oleifera* atua como agente clarificante de águas pois possui uma proteína catiônica de alto peso molecular, que tem por finalidade desestabilizar as partículas. Estas mesmas proteínas apresentam a capacidade de coagulação e floculação das sementes de *Moringa oleifera* (ARANTES et al., 2010).

A *Moringa oleifera* é eficiente na remoção de cor e turbidez da água, sendo avaliada, então, como um processo promissor na etapa de coagulação e floculação de águas potáveis (CARDOSO et al., 2008).

Muniz, Duarte e Oliveira (2015), observaram que a eficiência das sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez varia em função dos níveis de turbidez inicial, as amostras de água sofreram reduções maiores ou iguais a 89,5, 95,5 e 97,5% em

relação à turbidez inicial. Além disso, perceberam uma relação linear entre níveis de turbidez inicial da água com a melhor dosagem de sementes.

Porém, segundo Cruz et al. (2010) um dos problemas relacionados ao tratamento de água utilizando a *Moringa oleifera* como coagulante é a degradação da proteína durante longos períodos de estocagem. Por isso, aconselha-se que as vagens da moringa sejam colidas poucos dias antes de sua utilização.

Existem diversos estudos a cerca da melhoria da metodologia para o uso da *Moringa oleifera* no processo de tratamento de água. Uma deles é a adição de solução salina. Pereira et al. (2010) constataram em ensaios realizados de coagulação/floculação, utilizando extratos de *Moringa oleifera* em meio salino e em meio aquoso, que o meio salino apresenta maior eficiência na extração da proteína na torta da moringa do que o meio aquoso.

Outras duas metodologias comumente comparadas, é a *Moringa oleifera* em forma líquida e em saches (pó). Quando comparada a eficiência da *Moringa oleifera* em forma líquida e em saches, Arantes et al. (2010), concluíram que o uso do sachê mostrou-se menos eficiente na unidade de pré-filtração, porém, considerando-se todo o sistema de filtração o sache se mostra mais eficiente que o coagulante líquido onde a diferença entre estes tratamentos mostrou-se significativa. O coagulante na forma de sachê apresentou potencialidade de uso na filtração quando se considerou não só a redução de turbidez, mas também a cor aparente.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE COLETA E ENSAIO

Á água utilizada neste experimento proveio do reservatório de entrada de um sistema de abastecimento de água que capta água rio do Jacutinga.

A coleta foi realizada uma única vez a fim de que não houvesse modificações das suas características no decorrer dos ensaios. A água coletada do sistema de abastecimento foi armazenada em uma bombona de 50 litros e transportada para o Laboratório de Poluentes Atmosféricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *Campus* Londrina, onde foram realizadas as análises experimentais com exceção da análise de coliformes totais e E. coli que foram realizadas utilizando o equipamento do laboratório do sistema de abastecimento de água onde foram retiradas as amostras.

### 4.2 ENSAIO DE LABORATÓRIO

#### 4.2.1 Pré-Ensaio

Para definir a concentração de *Moringa oleifera* necessária para o funcionamento adequado como coagulante foi fundamental a realização de um pré-ensaio.

Neste pré-ensaio, preparou-se a solução de coagulante de *Moringa oleifera*. Esta solução foi realizada segundo adaptação de Theodoro (2012), conforme descrito na sequência.

Triturou-se no liquidificador 10 gramas de semente de *Moringa oleifera* com 1 litro de água destilada e 1M de cloreto de sódio (NaCl). A solução foi coada e utilizada apenas à parte líquida, resultando assim na solução coagulante “mãe”.

O pré-ensaio foi efetuado em um Becker contendo 100 ml da água de abastecimento e a solução mãe foi adicionada em quantidades aleatórias até se obter a quantidade de solução ideal para agir no estágio de coagulação/floculação nesta água específica.

A concentração de *Moringa oleifera* que deveria conter nos saches, na solução líquida e no ensaio da *Moringa oleifera* dispersa foi a mesma definida neste pré-ensaio. A concentração definida foi de 2 gramas de *Moringa oleifera*.

#### 4.2.2 Confeção Dos Saches

Arantes (2014) realizou um experimento testando quatro tipos de geotêxteis sintéticos não tecidos com gramaturas diferentes e um modelo de filtro de papel de café Melitta®. A escolha do material utilizado se deu considerando a praticidade de confecção dos saches, e teor de proteína considerável aliado à baixa concentração de sólidos.

Com isso, o material escolhido para confeccionar os saches que foram utilizados nesta pesquisa foram os filtros de papel, segundo pesquisa de Arantes (2014).

O filtro de papel utilizado nos ensaios pode ser visto na Figura 3. Para evitar que o pó de moringa escapasse pelas laterais do sache, os mesmos foram costurados conforme Figura 4.

**Figura 3: Filtro de papel de café Melitta® utilizado para confecção dos saches**



Fonte: Elaborado pela autora.

**Figura 4: Saches confeccionados para o ensaio dos tratamentos T1 e T2.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, os tratamentos envolvidos neste experimento foram definidos da seguinte forma:

- Tratamento M1: pó de *Moringa oleifera* em sachês e 24 g de NaCl;
- Tratamento M2: pó de *Moringa oleifera* em sachês e 12 g de NaCl;
- Tratamento M3: *Moringa oleifera* líquida e 24g de NaCl;
- Tratamento M4: *Moringa oleifera* líquida e 12g de NaCl;
- Tratamento M5: *Moringa oleifera* em pó sobre dispersão e 24g de NaCl;
- Tratamento M6: *Moringa oleifera* em pó sobre dispersão e 12g de NaCl.

O experimento foi realizado em triplicata para diminuição dos possíveis erros cometidos.

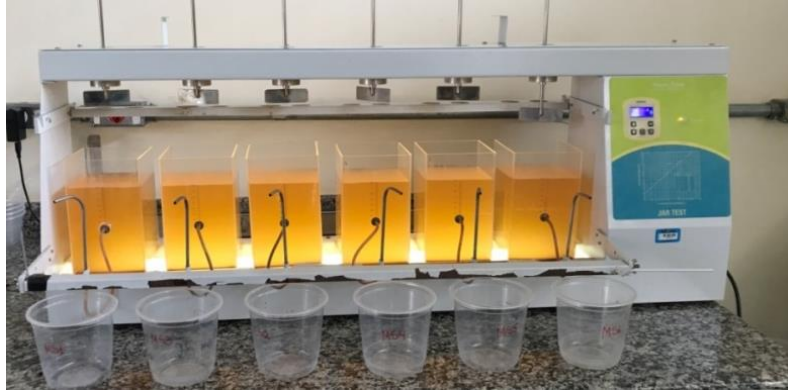
#### 4.2.3 Ensaio

As análises experimentais foram realizadas em reatores estáticos Jar-Teste da marca Nova Ética, modelo 218 – 6LDB, o equipamento é conhecido como teste de jarros, consiste em um simulador em escala de bancada, dos processos de tratamento de água, contendo as etapas de coagulação, floculação e sedimentação. Tem função de determinar a dosagem ótima de coagulante, além de ser utilizado para obtenção dos gradientes de velocidade e tempo de mistura (PIANTÁ, 2008).

Este equipamento possui 6 recipientes graduados com capacidade de 2 litros, com uma pá localizada no interior de cada um. A velocidade das pás é controlada através de um painel digital (Figura 5).



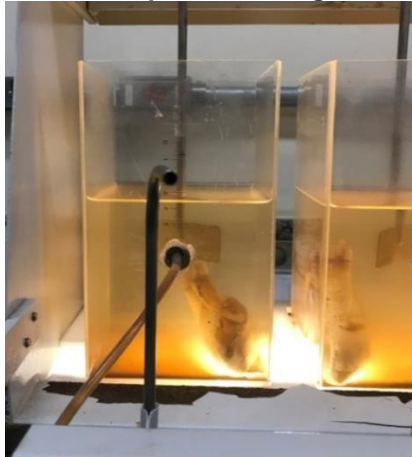
**Figura 5: Reator estático Jar-Test .**



Fonte: Elaborado pela autora.

Acondicionou-se os saches no interior dos recipientes juntamente com 2 litros da água analisada de acordo com a Figura 6.

**Figura 6: Saches acondicionados no interior do recipiente com água.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada etapa de tratamento foi utilizada um gradiente de velocidade diferente por um determinado período de tempo. Na Tabela 1 pode-se observar quais foram as variações utilizadas para realizar o experimento.

**Tabela 1: Condições de operação das etapas de tratamento.**

Etapa	Gradiente de velocidade	Tempo de mistura ou repouso
Coagulação	150 rpm	3 min.
Floculação	15 rpm	10 min.
Sedimentação	-	3 min.

Fonte: Adaptado de Theodoro (2012).

Para o processo de filtração foram utilizados 6 filtros de garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) em paralelo adaptados a uma estrutura metálica logo abaixo do equipamento Jar-Test, para que a saída da água fosse diretamente do jarro para os filtros após a etapa final de sedimentação, simulando o processo de filtração direta com fluxo descendente. Suas camadas filtrantes foram compostas por cascalho e areia, para dar suporte ao meio filtrante foram usados algodão e filtro de papel. As granulometrias das areias apresentavam uma faixa de 0,425 a 850  $\mu$ m (IOSHIMURA, 2016).

O experimento completo levou em torno de 33 minutos, considerando-se que após os 3 primeiros minutos de sedimentação, foram coletadas amostras de 10 em 10 minutos ate totalizar 33 minutos e analisados os resultados.

Após os 33 minutos de coletas e análises também foi amostrada a água filtrada com o tempo de 6 minutos e os parâmetros novamente analisados. Dessa forma, os procedimentos realizados para coleta das amostras podem ser demonstrados na Tabela 2.

**Tabela 2: Procedimento de coleta das amostras.**

Coleta	Siglas	Tempo para coleta
Amostra 1	A1	Após 3 min. da sedimentação
Amostra 2	A2	Após 13 min. da sedimentação
Amostra 3	A3	Após 23 min. da sedimentação
Amostra 4	A4	Após 33 min. da sedimentação
Amostra 5	A5	Após 6 min de filtração

**Fonte: Elaborado pela autora.**

Para o coagulante de *Moringa oleifera* na forma líquida e com o pó sobre dispersão na superfície o procedimento foi o mesmo. O ensaio foi realizado de forma totalmente semelhante, com condições de operação do tratamento demonstrados na Tabela 1 e o procedimento de coleta das amostras exemplificado na Tabela 2.

Na Figura 7 pode-se observar o experimento completo, os seis jarros com os tratamentos e os filtros.

**Figura 7: Aparato experimental completo, Jar-Test e filtros.**



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.3 PARÂMETROS ANALISADOS

Os parâmetros determinados para análise foram os de pH, turbidez, temperatura, condutividade elétrica, cor aparente e sólidos totais seguindo a metodologia de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) (Tabela 3) além de, coliformes totais e E. coli seguindo a metodologia de Collilert.

**Tabela 3: Parâmetros analisados, equipamentos e metodologia.**

Parâmetro	Equipamento/Modelo	Metodologia
pH	pHmetroPA-210	4500 B
Turbidez	Turbidímetro HACH 4000	2030 B
Temperatura	Termômetro digital	-
Condutividade elétrica	CondutímetroMca 150	2510 B
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH 4000	2120 C
Sólidos Totais	Estufa e Mufla	2540 B

Fonte: APHA (2012).

A análise dos coliformes totais e *E. coli* foram realizadas utilizando o sistema Quanti-Tray/2000. Esse sistema fornece métodos de quantificação semiautomatizados com base no modelo Número Mais Provável por 100 mL.

De acordo com a IDEXX Laboratories (2002) esse sistema tem como base o mesmo modelo estatístico que a diluição seriada tradicional de 15 tubos. A amostra é dividida em porções corretas automaticamente quando transferida para as plaquetas e vedada pelo Quanti-TraySealer PLUS. Não são utilizados tubos de ensaio, tubos de Durham ou quaisquer diluições, apenas quando a amostra é bruta ou apresentar uma carga alta de sólidos é aconselhável diluir para obter um resultado mais significativo. A amostra é dividida em 97 poços de 2 tamanhos diferentes, e o intervalo de contagem é de 1 a 2.419 NMP e apresenta um limite de confiança 95% melhor do que a diluição seriada em 15 tubos.

Na Figura 8 é possível observar os procedimentos para realização da análise das amostras e na Figura 9 o resultado após 24 horas de incubação em estufa.

**Figura 8: Procedimentos para análise de Coliformes Totais e *E. coli*: (a) meio de cultura, (b) amostra a ser analisada misturada com o meio de cultura até homogeneização, (c) transferência da amostra para a plaqueta Quanti-Tray/2000 e (d) seladora Quanti TraySeal**

(a)



(b)



(c)



Fonte: Elaborada pela autora.

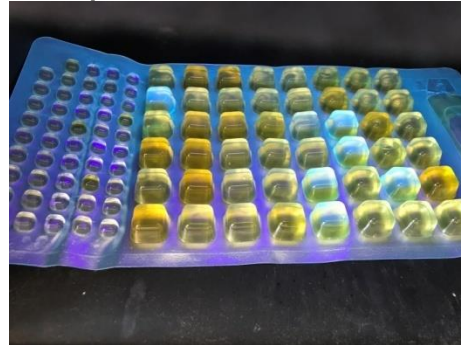
(d)



Figura 9: Plaqueta Quanti-Tray/2000 na luz ultravioleta depois de 24 horas em estufa.



Fonte: Elaborado pela autora.



#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi realizado em triplicata possibilitando uma análise estatística, essas comparações entre os resultados encontrados foram realizadas por meio de análise de variância (ANOVA), Teste Tukey usando o programa Past 3.

Para os casos em que a análise de variância apresentou diferenças significativas foi aplicada o teste de Tukey, considerando sempre nível de significância de 5% (significativo quando valor-p < 0,05). O teste de Tukey foi usado para identificar quais os tratamentos que possuíam diferenças entre si, ou seja, comparando o tratamento M1 com os outros 5 quais apresentam valor – p menor que 0,05.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os modelos utilizados no trabalho para a análise de variância e teste de Tukey.

**Tabela 4: Modelo utilizado para demonstrar os resultados obtidos com a análise de variância.**

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor - P
Entre grupos					
Dentro dos grupos					
Total					

**Fonte: Elaborado pela autora.**

**Nota:**

GL = Grau de Liberdade; SQ = Soma dos Quadrados; QM = Quadrados Médios; F = F Calculado; Valor – P = indica o nível de significância;

**Tabela 5: Modelo utilizado para demonstrar os resultados obtidos com o teste de Tukey.**

Tratamentos	M1	M2	M3	M4	M5	M6
M1						
M2						
M3						
M4						
M5						
M6						

**Fonte: Elaborado pela autora.**

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características da água superficial bruta analisada estão apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6: Características água bruta.**

PARÂMETROS	VALORES
pH	6,19
Turbidez (NTU)	139
Temperatura (°C)	20,9
Condutividade Elétrica (mS.cm <sup>-1</sup> )	3,0
Cor aparente (mgPt-Co.L <sup>-1</sup> )	427
Sólidos Totais (mg.L <sup>-1</sup> )	2,54
Coliformes Totais (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	829
E. coli (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	4,1

**Fonte: Elaborado pela autora.**

Através da metodologia descrita neste trabalho foram realizados os ensaios e os resultados encontrados estão organizados da seguinte forma: temperatura (5.1), pH (5.2), condutividade elétrica (5.3), turbidez (5.4), cor aparente (5.5), série de sólidos totais (5.6) e coliforme totais e E. coli (5.7).

### 5.1 TEMPERATURA

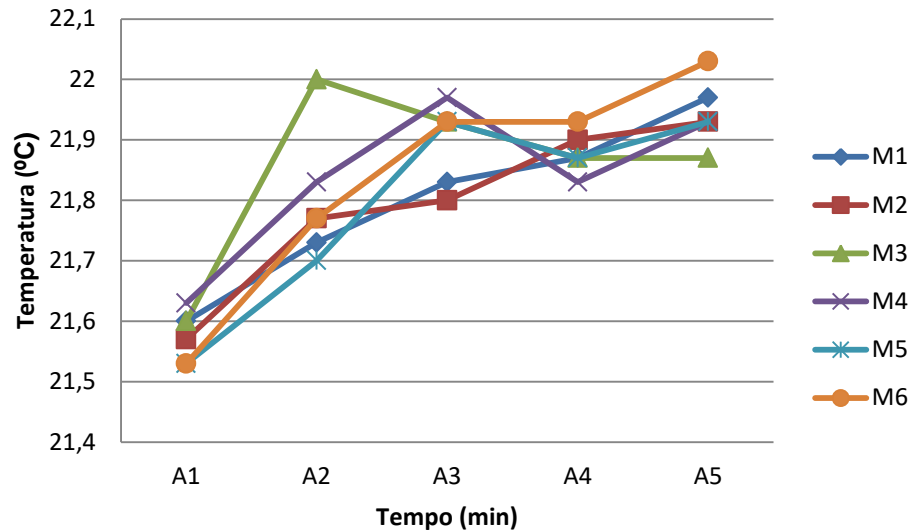
A Tabela 7 apresenta os valores máximos, médios e mínimos para cada um dos tratamentos analisados. Na Figura 10 podemos observar os valores médio dos 3 ensaios realizados dos seis tratamentos ao longo do tempo.

**Tabela 7: Valores máximos, médios e mínimos para cada um dos tratamentos realizados.**

Temperatura (° C)	Tratamentos					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Máxima	22,3	22,4	22,3	22,4	22,3	22,4
Média	21,8	21,8	21,9	21,8	21,8	21,8
Mínima	20,9	21,0	21,1	21,1	21,2	21,1

**Fonte: Elaborado pela autora.**

**Figura 10: Valores de temperatura da água tratada dos seis tratamentos ao longo do tempo.**



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Tabela 7 e Figura 10 pode-se observar que não houve grande variação de temperatura ao longo do experimento. Os valores médios permaneceram próximos ao valor da água bruta 20,9 °C, variando um grau a mais ou a menos.

Observa-se uma constância nos valores de temperatura para os tratamentos com 12 g de NaCl e 24 g de NaCl. Não houve alteração de temperatura entre os tratamentos, para as temperaturas máximas, médias e mínimas, indicando que a concentração de sal não influenciou na variação de temperatura.

A Tabela 8 mostra a análise de variância para a temperatura com relação aos seis tratamentos. A análise confirma o que foi observado na Figura 10 e na Tabela 7. O valor de F encontrado é muito baixo e menor que o valor de F crítico e o valor – P obtido é maior que o valor de significância 0,05, indicando assim que não houve diferenças significativas entre os valores de temperatura para cada tratamento.

**Tabela 8: Análise de variância para temperatura.**

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F	Valor - P	F crítico
Entre grupos	0,018667	5	0,003733	0,150336	0,977965985	2,620654
Dentro dos grupos	0,596	24	0,024833			
Total	0,614667	29				

Fonte: Elaborado pela autora.



## 5.2 pH

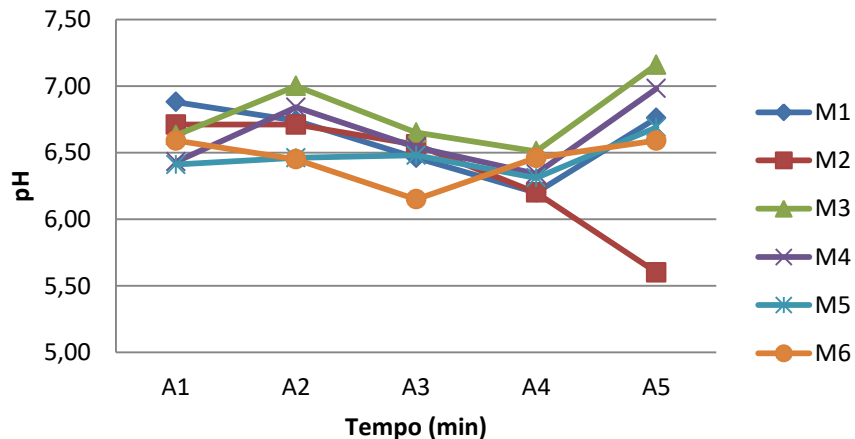
Na Tabela 9 e Figura 11 pode-se observar os valores médios de pH da água e a variação do mesmo ao longo do tempo. Foram utilizados os valores médios de pH dos 3 ensaios realizados.

**Tabela 9: Valores médios de pH ao longo da sedimentação e da filtração para cada um dos tratamentos.**

Tratamento	Tempo				
	Sedimentação				Pós-filtração
	3 min	13 min	23 min	33 min	6 min
M1	6,88	6,74	6,46	6,20	6,76
M2	6,71	6,71	6,56	6,20	5,60
M3	6,63	7,00	6,65	6,51	7,16
M4	6,43	6,84	6,54	6,34	6,98
M5	6,41	6,46	6,48	6,31	6,69
M6	6,59	6,45	6,15	6,46	6,59

Fonte: Elaborado pela autora.

**Figura 11: Valores médios de pH da água analisada ao longo do tempo.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Observando-se o valor de pH da água bruta (6,19), pode-se perceber analisando a Tabela 9 e a Figura 11, que houve um aumento para a grande maioria dos tratamentos ao final do tempo de filtração, apenas o tratamento M2 que apresentou uma redução no seu valor de pH, essa redução foi atribuída a possíveis erros durante o ensaio, como calibração do pHmetro e erro de leitura.

Não foi possível verificar disparidade nos resultados de pH em relação aos tratamentos (com exceção de M2), os valores de pH permaneceram próximos de acordo com a variação do tempo.

A utilização desse coagulante natural nos processos de tratamento de água apresenta muitas vantagens, uma delas consiste no fato de que o mesmo não provoca significativas alterações nos valores de pH durante o processo de tratamento (MADRONA, 2010). Valverde et al. (2013), também constatou que o uso do coagulante a base de *Moringa oleifera* não causa alterações no pH da água após o tratamento.

Todos os valores obtidos durante o ensaio estão de acordo com a Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde para potabilidade da água, onde, para água tratada a faixa de valor máximo permitido é de 6,0 a 9,5, observando-se que os valores encontrados encontram-se dentro da normalidade.

A Tabela 10 apresenta a análise de variância do pH em relação ao seis tratamentos realizados.

**Tabela 10: Análise de variância para o pH nos seis tratamentos.**

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F	Valor - P	F crítico
Entre grupos	0,378282	5	0,075656	1,404816087	0,258085111	2,620654
Dentro dos grupos	1,29252	24	0,053855			
Total	1,670802	29				

Fonte: Elaborado pela autora.

O valor – P encontrado na análise foi maior que o valor de significância adotado 0,05 e o valor de F foi menor que o valor de F crítico indicando que para o parâmetro pH as médias de cada tratamento estatisticamente não apresentam diferenças.

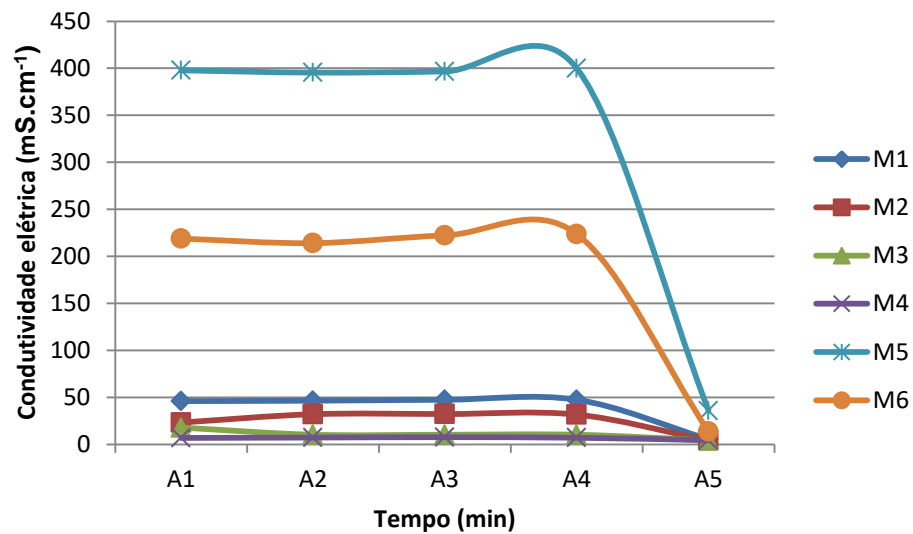
### 5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Tabela 11 apresenta os valores médios de condutividade dos 3 ensaios para cada um dos tratamentos realizados e a Figura 12 apresenta os valores médios de condutividade elétrica obtidos nos três ensaios em função do tempo.

**Tabela 11: Valores médios de condutividade elétrica obtidos nos 3 ensaios.**

Tratamento	Tempo				
	Sedimentação				Pós-filtração
	3	13	23	33	39
M1	46,00	46,40	47,40	47,40	5,40
M2	23,20	32,00	32,20	31,60	4,00
M3	17,80	10,20	10,20	10,20	4,20
M4	6,80	7,20	7,60	7,00	4,40
M5	397,80	395,40	396,60	400,00	35,80
M6	218,80	214,00	222,20	223,80	13,60

Fonte: Elaborado pela autora.

**Figura 12: Valores médios de condutividade elétrica dos tratamentos em função do tempo.**

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se na Tabela 11 que houve um aumento nos valores de condutividade elétrica para todos os tratamentos em relação ao dado bruto ( $3,0 \text{ mS.cm}^{-1}$ ). Segundo Okuda (1991) quanto maior a concentração de sal no meio, maior sua condutividade elétrica. Isso acontece porque o sal provoca uma elevação da atividade do coagulante devido ao aumento da força iônica no meio, o que causa uma elevação na solubilidade nos compostos ativos responsáveis pela purificação do meio.

Sendo assim, podemos observar que os tratamentos (M1, M3 e M5) onde a concentração de sal era o dobro dos outros tratamentos (24 g) o aumento no valor desse parâmetro foi maior. Porém os tratamentos M5 e M6 apresentaram um maior

aumento nos valores, acredita-se que essa variação decorre do tipo de tratamento empregado, que foi a dispersão da *Moringa oleifera* em pó no meio.

A diminuição dos valores de condutividade elétrica após processo de filtração se dá ao fato de que a principal função dos filtros é reter bactérias e sua função secundária é reter outras impurezas que não sedimentaram no processo de decantação (PEDROSA, 2014), sendo assim, a filtração retém o excesso de sal presente na água, que por sua vez é o responsável principal pela condutividade elétrica, ocasionando uma queda nos valores.

A Tabela 12 representa a análise de variância para condutividade elétrica para cada um dos tratamentos.

**Tabela 12: Análise de variância para condutividade elétrica.**

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F	Valor - P	F crítico
Entre grupos	414948,9	5	82989,78	14,15177	0,0000016951234	2,620654
Dentro dos grupos	140742,4	24	5864,268			
Total	555691,3	29				

Fonte: Elaborado pela autora.

Com a análise de variância foi possível confirmar que houve diferenças entre os valores de condutividade para cada um dos tratamentos com *Moringa oleifera*. O valor de F se mostrou maior que o valor de F crítico e o valor – P obtido é muito menor que o valor de 0,05 de significância adotado, isso indica diferenças significativas entre os valores experimentais de condutividade elétrica.

Na Tabela 13 encontram-se os valores obtidos com o teste de Tukey.

**Tabela 13: Teste de Tukey para condutividade elétrica com significância de 5%.**

Tratamentos	M1	M2	M3	M4	M5	M6
M1		0,9997	0,9916	0,9848	0,00018	0,07663
M2	0,4065		0,9997	0,999	0,00016	0,04165
M3	0,8176	0,4111		1	0,00015	0,02177
M4	0,9321	0,5256	0,1145		0,00014	0,0181
M5	8,369	8,775	9,186	9,301		0,05744
M6	4,087	4,493	4,904	5,019	4,282	

Fonte: Elaborado pela autora.

Os espaços vazios representam a comparação entre os mesmos tratamentos, indicando que não há diferença. Analisando os resultados percebe-se que os tratamentos que apresentaram maiores diferenças significativas foram os tratamentos M5 e M6.

O tratamento M5 apresentou valores – p menores que o valor de significância quando comparada com os tratamentos M1, M2, M3 e M4. E o tratamento M6 teve diferenças com estes mesmos tratamentos, sendo que quando comparados com o tratamento M4 tiveram o menor valor-p indicando um grau significativo maior.

#### 5.4 TURBIDEZ

Na Tabela 14 encontram-se os valores brutos para o parâmetro de turbidez ao longo do processo de sedimentação e ao final da filtração. Os valores apresentados são os médios das 3 repetições realizadas no ensaio.

**Tabela 14: Valores médios de turbidez (NTU) ao longo da sedimentação e ao final da filtração.**

Tratamento	Tempo				
	Sedimentação				Pós-filtração
	3 min	13 min	23 min	33 min	6 min
M1	150,00	106,00	76,90	61,67	3,02
M2	148,00	116,00	89,53	61,73	2,38
M3	126,67	66,73	30,40	24,77	2,25
M4	80,23	44,80	33,23	27,77	1,94
M5	288,67	274,00	231,00	206,67	2,07
M6	322,00	106,67	139,67	123,67	2,55

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a Tabela 14 podemos observar que a maior variação nos valores de turbidez ocorreu no tratamento M6, onde o valor passou de 322 NTU no início da sedimentação para 123,67 NTU ao final da sedimentação e a 2,55 NTU após filtração. Precisamos levar em conta que o tratamento M6 consistia na *Moringa oleifera* em pó sobre dispersão com 12g de NaCl, sendo assim, os valores de turbidez obtidos são referentes também as partículas de *Moringa oleifera* e não somente aos sólidos

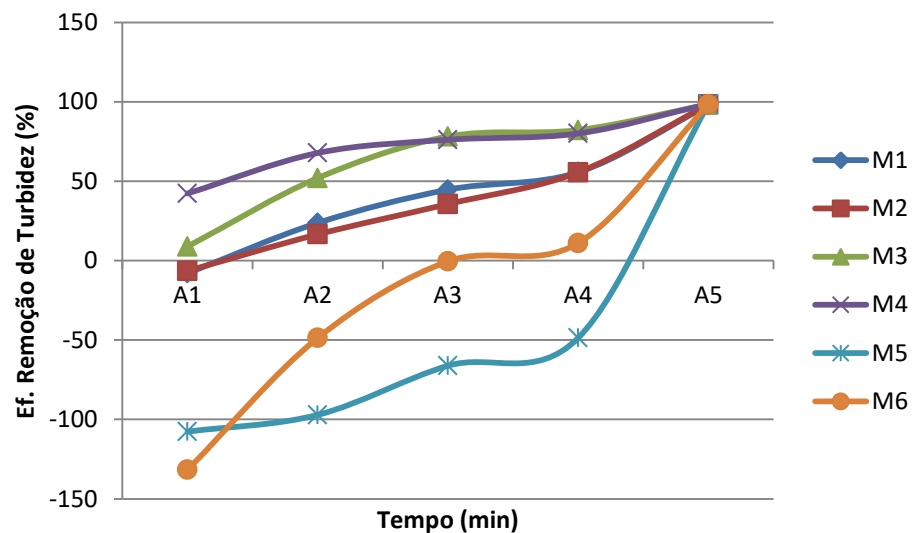
presentes na água bruta, explicando assim porque o valor de turbidez ao início da sedimentação é muito superior que o valor obtido para a água bruta (139 NTU).

Comparando os resultados obtidos com a Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, onde se encontra como valor máximo permitido 0,5 uT nenhum dos tratamentos encontram-se dentro dos padrões.

Os valores pós-filtração apresentam uma maior proximidade com o exigido na Portaria, demonstrando uma alta eficiência do filtro e a importância desta etapa no processo de tratamento de água. Pode-se pensar que para alcançar os valores exigidos seria necessário um aprimoramento no meio filtrante, além do processo de desinfecção da água que não foi realizada nesta pesquisa.

A Figura 13 mostra os valores médios da eficiência de remoção de turbidez observados durante as 3 repetições do ensaio.

**Figura 13: Valores médio das 3 repetições da eficiência de remoção de turbidez para cada tratamento.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando o resultado dos seis tratamentos pós-filtração percebe-se uma alta eficiência de remoção para todos. Sendo que o que apresentou a maior redução foi o tratamento M4 com 98,6%, seguido dos tratamentos M5, M3 e M2 com 98,5%, 98,4% e 98,3% respectivamente. Os tratamentos que apresentaram uma menor eficiência foram

o M1 e o M6 com valores de 97,8% e 98,2%, mas mesmo assim atingindo elevados níveis de remoção de turbidez comprovando a eficiência deste coagulante.

Madrona (2010) constatou que a concentração salina influencia positivamente na eficiência de remoção de turbidez, pois a mesma aumenta a liberação de proteínas na solução e quanto maior o nível de proteína, maior é a atividade de coagulação, com isso, maior a remoção de turbidez. Este efeito pode ser observado neste trabalho, onde os níveis de eficiência de turbidez se mostraram superiores a 95%.

Os valores negativos de eficiência de remoção encontrados nos tratamentos M5 e M6 ocorreram pelo fato de que o método de tratamento usado foi o de dispersão, indicando que a *Moringa oleifera* liberou muita matéria orgânica aumentando a turbidez da água. Por isso os valores de turbidez inicial nesses tratamentos foram maiores que o valor de turbidez da água bruta.

Observa-se na Tabela 15 os resultados encontrados para a análise de variância, observa-se que o valor de F é maior que valor de F crítico e que o valor – P obtido é menor que o valor de significância 0,05. Isso indica que houve diferenças significativas entres os tratamentos para o parâmetro analisado.

Como os valores de F e F crítico não apresentam grande diferenças, assim como, o valor – P não é muito menor que 0,05, acredita-se que essa pouca disparidade entre os valores se de por causa dos valores finais de eficiência de remoção de turbidez serem muito próximos

**Tabela 15: Análise de variância para turbidez.**

Fonte da variação	SQ	GL	QM	F	Valor - P	F crítico
Entre grupos	93318,69	5	18663,74	3,115465	0,026287	2,620654
Dentro dos grupos	143776,2	24	5990,674			
Total	237094,9	29				

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 16 encontram-se os valores obtidos com o teste de Tukey comparando os seis tratamentos entre si.

**Tabela 16: Teste de Tukey para turbidez com significância de 5%.**

Tratamentos	M1	M2	M3	M4	M5	M6
M1		1	0,9901	0,9532	0,1726	0,8262
M2	0,1158		0,9824	0,9324	0,1997	0,8635
M3	0,848	0,9639		0,9998	0,05242	0,4767
M4	1,211	1,327	0,3631		0,02988	0,3355
M5	3,495	3,379	4,343	4,706		0,8042
M6	1,716	1,6	2,564	2,927	1,779	

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando os valores encontrados com o teste de Tukey o tratamento que apresentou valor – p menor que o valor de significância adotado 0,05 foi o tratamento M5 quando comparado com o tratamento M4. O valor obtido foi de 0,02988 indicando que as médias entre esses dois tratamentos apresentaram diferenças significativas. Os outros tratamentos apresentam suas médias estatisticamente semelhantes.

## 5.5 COR APARENTE

A Tabela 17 representa os valores médios de cor aparente para cada um dos tratamentos analisados em função do tempo durante as 3 repetições do ensaio. A Figura 14 relaciona a média de remoção de cor ao longo do tempo durante os 3 ensaios.

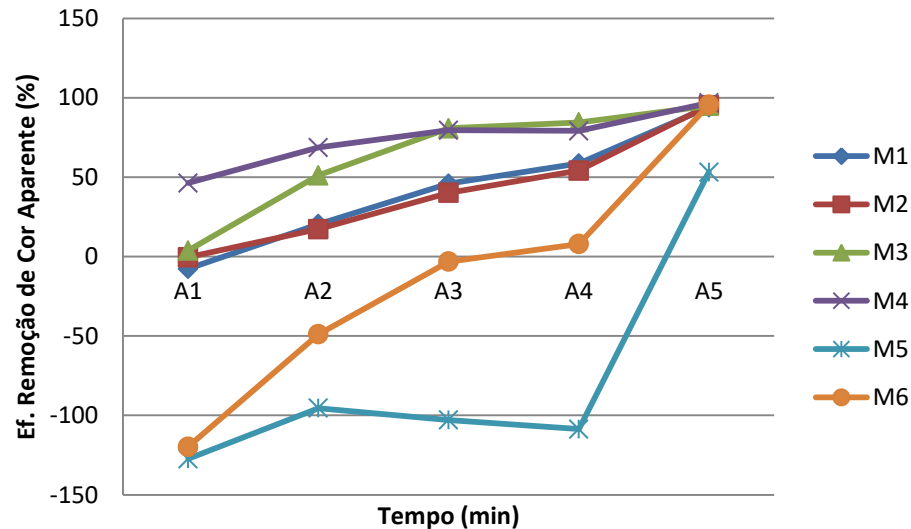
**Tabela 17: Valores de cor aparente obtidos nas três repetições do ensaio.**

Tratamento	Tempo				
	Sedimentação				Pós-filtração
	3 min	13 min	23 min	33 min	
M1	459,67	340,00	231,00	176,67	25,33
M2	428,67	353,00	255,67	195,67	20,67
M3	410,67	208,67	82,00	66,33	21,33
M4	229,33	134,00	87,33	89,00	13,67
M5	970,67	834,67	866,33	891,00	20,00
M6	938,33	635,67	440,33	393,00	19,00

Fonte: Elaborado pela autora.



**Figura 14: Valores médios de eficiência de remoção de cor aparente para os seis tratamentos analisados.**



Fonte: Elaborado pela autora.

Foi possível observar a eficiência de remoção nos 6 tratamentos realizados, sendo a maior variação no tratamento 3 e a menor variação nos tratamentos 1 e 2.

Observando a Tabela 17 e a Figura 14 pode-se notar que os tratamentos M5 e M6 apresentaram uma variação de cor muito alta, onde no início do processo de sedimentação o valor de cor aparente encontrado excede muito ao valor da água bruta ( $427 \text{ mg.L}^{-1}$ ), podemos atribuir isso ao fato de que os tratamentos citados são aqueles em que utilizou-se a solução de semente de *Moringa oleifera* dispersa, causando assim o aumento nos valores.

Nesses mesmos tratamentos foi possível observar uma variação muito maior que nos outros tratamentos, pois os valores iniciais eram muito maiores, porém ao final o valor encontrado se assemelhava aos demais.

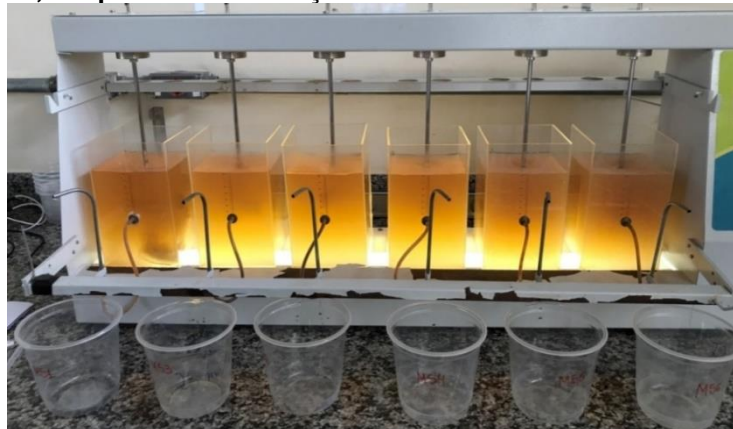
Avaliando a eficiência de remoção da cor aparente dos tratamentos empregados percebe-se que com exceção do tratamento M5 todos apresentaram uma remoção de quase 100%. Sendo o tratamento M4 o que apresentou uma maior eficiência com cerca de 96,8%, seguido dos tratamentos M6, M2, M3 e M1 com eficiências de 95,6%, 95,2%, 95% e 94,1% respectivamente. O tratamento M5 apresentou um menor percentual com cerca de 53,2%.

Para os tratamentos M5 e M6 foram obtidos valores iniciais negativos para eficiência de remoção de cor aparente. Esse efeito foi o mesmo observado para o parâmetro turbidez, onde o método de tratamento empregado causou primeiro um aumento de cor aparente, sendo maior que o valor encontrado para água bruta devido ao excesso de matéria orgânica liberado pelo coagulante natural, para posteriormente limpá-la alcançando altos percentuais de remoção.

Segundo Ndabigengesere et al. (1995), as sementes da *Moringa oleifera* apresentam uma grande eficiência na remoção de material suspenso e coloidal, corroborando com os resultados deste trabalho.

Nas Figuras 15 e 16 visualiza-se a redução da cor no decorrer do processo de sedimentação.

**Figura 15: Primeiro ensaio, tempo de sedimentação de 3 minutos.**



Fonte: Elaborado pela autora.

**Figura 16: Primeiro ensaio, tempo final de sedimentação 33 minutos.**



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 18 apresenta os valores da análise de variância para o parâmetro analisado. O valor de F obtido é maior que o valor de F crítico e o valor-P é menor que o valor de significância adotado de 5% indicando que existem diferenças significativas entre os tratamentos.

**Tabela 18: Análise de variância para cor aparente.**

Fonte da variação	SQ	GL	QM	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1322498	5	264499,7	4,524469	0,004783	2,620654
Dentro dos grupos	1403036	24	58459,83			
Total	2725534	29				

Fonte: Elaborado pela autora.

Na tabela 19 encontram-se os valores do teste de Tukey, observa-se que o tratamento M5 comparado com M3 e M4 apresenta valores menores que o valor de significância, 0,01419 e 0,00687 respectivamente. Indicando que esses tratamentos possuem diferenças estatísticas entre si.

**Tabela 19: Teste de Tukey para cor aparente com significância de 5%.**

Tratamento	M1	M2	M3	M4	M5	M6
M1		1	0,9915	0,9457	0,0521	0,6303
M2	0,03884		0,9895	0,9386	0,05525	0,6471
M3	0,8206	0,8595		0,9996	0,01419	0,3008
M4	1,257	1,295	0,4359		0,00687	0,1794
M5	4,347	4,308	5,167	5,603		0,6601
M6	2,208	2,169	3,028	3,464	2,139	

Fonte: Elaborado pela autora.

## 5.6 SÓLIDOS TOTAIS

A Tabela 20 e a Figura 17 apresentam os valores de eficiência de remoção de sólidos totais dos seis tratamentos nos tempos: início de sedimentação, final de sedimentação e pós-filtração.

Observa-se que a maior remoção de sólidos se teve após o processo de filtração e que no tempo anterior (final da sedimentação) encontra-se valores negativos, onde o percentual de sólidos encontrados nesse intervalo de tempo foram maiores do que o valor de sólidos obtidos na água bruta (2,54 mg.L<sup>-1</sup>).

**Tabela 20: Valores de sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e eficiência de remoção (%) para cada tratamento em função do tempo final de sedimentação e pós - filtração**

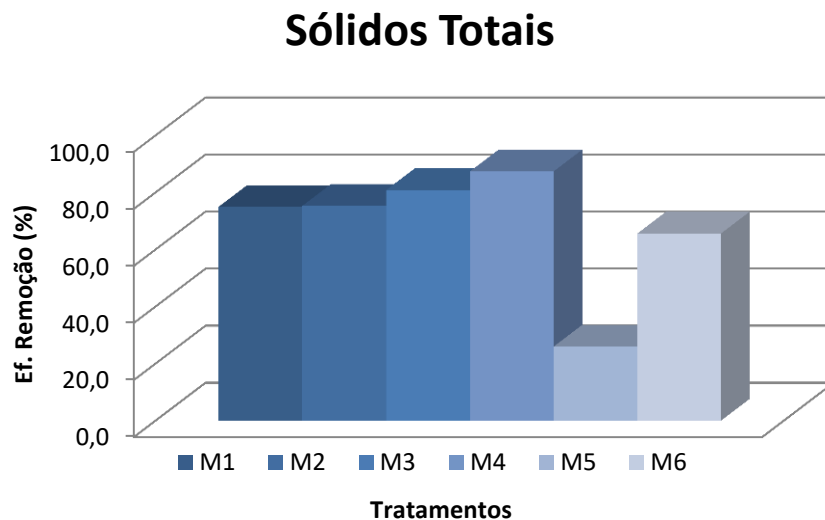
Tratamento	Sólidos Totais ( $\text{mg/L}$ )	Ef. de Remoção (%)	Sólidos Totais ( $\text{mg/L}$ )	Ef. de Remoção (%)
	final de sedimentação - 33 min		pós - filtração	
M1	1,97	22,4	0,4	74,9
M2	0,08	87,6	0,27	75,3
M3	0,36	78,5	1,03	80,8
M4	0,67	45,3	0,45	87,4
M5	12,05	-358,1	0,91	26,0
M6	5,79	-162,4	0,6	65,6

Fonte: Elaborado pela autora.

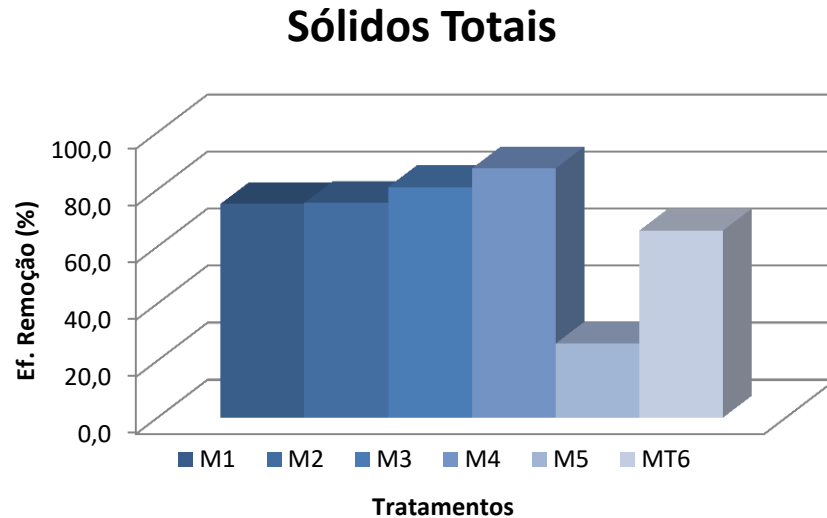
Os valores negativos encontrados são referentes aos tratamentos M5 e M6, que foram -358,1 e -162,4 no final da sedimentação respectivamente. Acredita-se que esses valores se deram ao fato de que os tratamentos foram realizados utilizando a *Moringa oleifera* em pó dispersa, causando um aumento significativo no percentual de sólidos encontrados.

**Figura 17: Eficiência de remoção de sólidos totais ao longo do tempo final de sedimentação-33 min (a) e tempo pós-filtração (b).**

a)



b)



Fonte: Elaborado pela autora.

O tratamento que apresentou um maior percentual de remoção foi o M4 com 87,4%, seguido dos tratamentos M3, M2 e M1 com valores de remoção de 80,8%, 75,3% e 74,9% respectivamente. Os tratamentos M5 e M6 mesmo apresentando uma quantidade maior de sólidos obtiveram uma menor eficiência de remoção com 26% e 65,6% respectivamente.

O tratamento M5 foi o que apresentou o pior resultado, esperava-se que por conter uma quantidade de sólidos maior que os demais, sua eficiência de tratamento seria maior ou próxima dos outros tratamentos, porém seu resultado continuou sendo insatisfatório.

## 5.7 COLIFORMES TOTAIS E E. COLI

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados obtidos no primeiro ensaio dos tratamentos analisados nas amostras A4 (tempo final de sedimentação, com 33 minutos) e amostras A5 (após o processo de filtração).

**Tabela 21: Número mais provável de coliformes totais e E. coli por 100 mL para as amostras de tempo final de sedimentação e pós-filtração.**

Tratamento	Amostra	Coliformes Totais	E. coli
M1	A4	648,8 x 10 <sup>1</sup>	7,5 x 10 <sup>1</sup>
M1	A5	> 2419,6	< 1
M2	A4	145	13,2
M2	A5	> 2419,6	2
M3	A4	> 2419,6	19,1
M3	A5	> 2419,6	< 1
M4	A4	> 2419,6	16,9
M4	A5	> 2419,6	< 1
M5	A4	1203,3 x 10 <sup>2</sup>	6,1
M5	A5	> 2419,6	< 1
M6	A4	1732,9 x 10 <sup>1</sup>	< 1
M6	A5	> 2419,6	< 1

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se observar que todas as amostras apresentaram presença de coliformes totais e E. coli, sendo que as amostras com uma maior quantidade de microrganismos são as A4 no tempo final de sedimentação. Conseqüentemente percebe-se uma alta eficiência do processo de filtração na remoção de coliformes da água, chegando a quase 100% na maioria dos casos.

Muitos estudos foram realizados para avaliar a eficiência de remoção de microrganismos patogênicos através de filtros lentos, e na maioria dos casos foram observadas altas taxas de remoção. Alguns deles observaram uma remoção de coliformes totais e E. coli de 95% a 100% (COELHO, 2002) e taxas de 97% para E. coli e 98% para coliformes totais (BRITO et al., 2005). Esses resultados também foram encontrados neste trabalho, embora o método de filtração utilizado tenha sido o de filtros rápidos.

De acordo com a Portaria 2.914 de 2.011, para uma água ser considerável potável deve haver ausência de coliformes em 100 mL de água. Os resultados obtidos com o filtro rápido foram satisfatórios e chega-se a conclusão de que se houvesse o processo de desinfecção após a filtração o valor seria atingido. Camplesi, Perez e Siqueira (2010) chegaram a mesma conclusão, onde observou-se que seria necessário apenas a desinfecção no efluente final estabelecendo que, após a desinfecção, a água

deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  para atingir os padrão exigidos pela portaria de potabilidade da água.

A Tabela 22 representa os valores encontrados na análise de variância para os seis tratamentos.

**Tabela 22: Análise de variância de coliformes totais e Escherichia coli.**

Fonte da variação	SQ	GL	QM	F	Valor - P	F crítico
Entre grupos	1113986817	1	1113986817	1,939389823	0,177650877	4,300949502
Dentro dos grupos	12636814781	22	574400671,9			
Total	13750801598	23				

**Fonte: Elaborado pela autora.**

De acordo com a tabela podemos entender que as médias de coliformes totais e E. coli são estatisticamente semelhantes. Os valores de F é menor que F crítico e o valor-P é maior que o valor de significância adotado de 5% indicando que não existem diferenças significativas entre os tratamentos.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostraram que o uso de coagulantes natural *Moringa oleifera* com NaCl foi eficiente no processo de tratamento de água. E que o tratamento M4 contendo 2,0 g de *Moringa oleifera* em solução líquida com 12 g de NaCl demonstrou ser o mais eficiente.

Constatou-se a importância da etapa de filtração no processo de tratamento de água, pois, os resultados obtidos após o processo mostraram-se melhores que aqueles encontrados antes desta etapa. Um aspecto importante observado no processo de filtração foi a eficiência de remoção de microrganismos.

Comparando os valores encontrados com a Portaria 2.914 de 2.011 a *Moringa oleifera* é um eficiente coagulante natural se utilizada no tratamento de água seguindo todas as etapas (coagulação, floculação, sedimentação e desinfecção) exigidas. Pois, os mesmos, se encontram dentro ou muito próximos dos valores determinados por lei e acredita-se que se houvesse o processo de desinfecção no ensaio, para os parâmetros analisados, a água obtida ao final do processo se enquadraria no padrão de potabilidade.



## REFERENCIAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22<sup>a</sup> ed. Washington, 2012.

ARANTES, C. C.; PATERNIANI, J. E. S.; RODRIGUES, D.C.; HATORI, P.S.; PIRES, M.S.G.; Diferentes formas de aplicação da semente de *Moringa oleifera* no tratamento de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 266-272, 2015.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes 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, 2014.

ARANTES, C.C.; SILVA, G.K.; PATERNIANI, J. E.S. **Desenvolvimento de sachê para a aplicação de coagulante à base de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água**. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2. 2010, Aracaju, SE. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2010.

BONGIOVANI, M. C.; KONRADT-MORAES, L. C.; BERGAMASCO, R.; LOURENÇO, B. S. S. **Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável**. Acta Scientiarum Technology, Maringá, v.32, n. 2, p. 167-170, 2010.

BRASIL. Constituição (1997). Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**.

BRASIL. Constituição (2007). Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007. **Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico**. Brasília, 2007.

BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988.

BRASIL. IBGE. . **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. **Procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, março de 2004.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 15 de dezembro de 2011. **Ministério da Saúde**. Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp\\_doctos/kit\\_arsesp\\_portaria2914.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf)> Acesso em: 18 nov. 2016.

BRITO, L. L. A.; CARDOSO, A. B.; SALVADOR, D. P.; HELLER, L. **Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longoda profundidade do leito: uma avaliação em instalação**

BRUNI, José Carlos. A água e a vida. **Tempo Social**; Rev. Sociol. USP, S. Paulo, 5(1-2): 53-65, 1993

CAMPLESI, Daniela C. Fonseca; PEREZ, Wanderlei Elias; SIQUEIRA, Eduardo Queija. Remoção de coliformes totais e escherichia coli utilizando a filtração em múltiplas etapas (FiME) em períodos de alta turbidez da água bruta. **Reec: Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goias, v. 1, n. 1, p.14-18, 8 set. 2010.

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

COELHO, E. R. C. **Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio na remoção de atrasina em filtros lentos de areia e carvão ativado granular**. 2002. 248p. Tese(Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CRUZ, W.R.S. et al. **Avaliação da atividade coagulante presente na torta de Moringa oleifera lam durante seu armazenamento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2. 2010, Aracaju, SE. São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe, 2010.

DI BERNARDO, L.. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. 1ª ed. Rio de Janeiro. Edição: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 1995.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2º ed. São Carlos. Editora: RiMa, 2005. ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2. 2010, Aracaju, SE. Maringá, PR: Universidade Estadual de Maringá, 2010.

FREITAS, Marcelo Bessa de; BRILHANTE, Ogenis Magno; ALMEIDA, Liz Marta de. Importância da análise de água para a saúde em duas regiões do estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 17, p.651-660, maio 2001.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2º ed. **Belo Horizonte**. Editora: UFMG, 2010.

IDEXX. **Software gerador de NMP para seus resultados de NMP do sistema Quanti-Tray**. 2002. Disponível em: <<https://www.idexx.com/br/water/mpn-generator.html>>. Acesso em: 27 out. 2017.

IOSHIMURA, Renato Akira. **Estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento de água**. 2016. 63 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal American Water Works Association**, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991.

LIBÂNIO, M.. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3° ed. Campinas, SP. Editora Átomo, 2010.

LIMA, R.S.; SANTOS, V. B.; OLIVEIRA, A. C. P.; AZEVEDO, S. M. F. O. **Avaliação da eficiência de sementes de *Moringa oleifera* e de seu extrato aquoso como coagulante natural para remoção de células de *Microcystisaeruginosa***. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2. 2010, Aracaju, SE. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

LUCENA, R. G. R. et al. Significados da água na visão de lideranças de saúde. **Saúde Soc.**, São Paulo, v. 22, n. 4, p.1193-1204, 2013.

MACÊDO, J. A. B. de. **ÁGUAS & ÁGUAS**. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1048 p.

MADRONA, Grasiela 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.

MENDES, M. F.; COELHO, N.M.M. **Estudo do uso da *Moringa oleifera* para remoção de prata e manganês em águas**. *Horizonte Científico*, Uberlândia, v.1, n.1, p.1-18, 2007.

MUNIZ, G. L.; DUARTE, Francinete Veloso; OLIVEIRA, Suelaine Barbosa de. Uso de sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.454-463, 30 abr. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-aga.1439>.

NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., TALBOT, B., G.; **Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera* Lam**. *Water Res.*, 29 (2):703-710, 1995.

NETO, V. P. **Avaliação da qualidade da água de represas destinadas ao abastecimento do rebanho na Embrapa pecuária sudeste**. 2006. 40p. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Centro de recursos hídricos e ecologia aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

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. 2017.

PATERNIANI, J. E.S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 765-771, 2009.

PEDROSA, Marcella Santos. **Controle de qualidade da água de uma cidade de pequeno porte do estado da Paraíba**. 2014. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

PEREIRA, D.F. et al. **Eficiência dos extratos de Moringa em meio salino e em meio aquoso no tratamento de água produzida**. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2. 2010, Aracaju, SE. . São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe, 2010.

PIANTÁ, C. 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.

**piloto**. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p.307-317, 2005.

PIVELI, R.P.;KATO,M. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. Ed. ABES, Rio de Janeiro, 285 p., 2006.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo. Editora: Edgard Blucher Ltda, 1991.

ROMPRÉ, A.; SERVAIS, P.; BAUDART, J.; DE-ROUBIN, M. R.; LAURENT, P. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging. *Journal of Microbiological Methods*, [S.l.], v. 49, p. 31-54, 2002.

SAMPAIO, J. A. L.; WOLD, C.; NARDY, A. J. **Princípios de Direito Ambiental**. Ed. Del Rey. Belo Horizonte: 2003. p.54.

SANTOS, H. R. dos et al. Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário. **Nota Técnica**, São Paulo, v. 9, n. 4, p.291-300, out/dez 2004.

SERPELLONI, G.B. et al. **Estudo do Potencial do Extrato de *Moringa oleifera* Lam como Coagulante/Floculante no tratamento para obtenção de água potável.** In:

SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. **Revista Tecnológica**, Fortaleza, v.28, n.2, p.178-190, 2007.

SOUZA, Juliana Rosa de et al. A importancia da qualidade da água e os seus multiplos usos: caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **Rede - Revista Eletronica do Prodem**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p.26-45, 6 jan. 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.

VALVERDE, K. C.; MORAES, L. C. K.; BONGIOVANI, F. P. C.; BERGAMASCO, R. Coagulation diagram using the *Moringa oleifera* Lam and the aluminium sulfate, aiming the removal of color and turbidity of water. **Acta Scientiarum. Technology**. v.5, n. 3, p.485-489, 2013

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte. Editora UFMG, 2005. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1pxhLVxVFHoC&oi=fnd&pg=PA15&dq=par%C3%A2metros+de+qualidade+da+%C3%A1gua+2015&ots=ChEAD70E3p&sig=MSmxaZkW\\_mRs92ZWgzP5XG3KfNQ#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1pxhLVxVFHoC&oi=fnd&pg=PA15&dq=par%C3%A2metros+de+qualidade+da+%C3%A1gua+2015&ots=ChEAD70E3p&sig=MSmxaZkW_mRs92ZWgzP5XG3KfNQ#v=onepage&q&f=true)> Acesso em 17 nov. 2016.