

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

DANDLEY VIZIBELLI

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MATERIAIS UTILIZADOS NA
COMPOSIÇÃO DE FILTROS QUANDO ASSOCIADOS A APLICAÇÃO
DE COAGULANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2019

DANDLEY VIZIBELLI

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MATERIAIS UTILIZADOS NA
COMPOSIÇÃO DE FILTROS QUANDO ASSOCIADOS A APLICAÇÃO
DE COAGULANTES NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

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

Orientador: Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira

LONDRINA

2019



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



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Avaliação de diferentes materiais utilizados na composição de filtros quando associados a aplicação de coagulantes no tratamento de água

por

Dandley Vizibelli

Monografia apresentada no dia 01 de julho de 2019 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. Dr. Marcelo Hidemassa Anami
(UTFPR)

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

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

Dedico este trabalho ao senhor que me acordava todos os dias de manhã, José Vizibelli Filho, meu avô, meu super-herói.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela proteção, pela saúde que me concede, pelas inúmeras oportunidades que coloca em minha vida, e por estar ao meu lado durante todo o caminho até aqui, me dando condições de superar os obstáculos e desafios.

A minha família, minha mãe Perla do Nascimento Vizibelli, minha avó Edivir do Nascimento Vizibelli, minha irmã Isabella Vizibelli Mendes, meus tios e tias, meus primos e primas, agradeço pelo sacrifício, pelo investimento, pela compreensão, e por confiarem em mim, por não desistirem de mim nem mesmo quando eu pudesse ter desistido.

Agradeço a todos os professores e funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina, pelo conhecimento passado, pelas experiências compartilhadas, e pela estrutura disponibilizada. Em especial agradeço a minha orientadora Prof. Dr. Edilaine Regina Pereira pela oportunidade e pela confiança em minha capacidade e em meu trabalho, agradeço também por ter ajudado a encontrar o meu gosto pelo curso e pela Engenharia Ambiental.

Aos amigos Diego Fernando da Silva, Paulo Rodrigo Santos Cunha, Thaís Ribeiro, Fellipe Jhordã Ladeia Janz, Beatriz Fernanda Crotti, Thaysla Belluco Quintino, e Gabriele Lopez Silva, pelos anos de companheirismo nos bons e maus momentos. Que nossas amizades perdurem.

Por fim agradeço a todos que tenham contribuído, participado, e ou me ajudado, direta ou indiretamente durante todos esses anos.

RESUMO

VIZIBELLI, D. **Avaliação de diferentes materiais utilizados na composição de filtros quando associados a aplicação de coagulantes no tratamento de água.** 2019. 60p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

O crescimento exponencial da população humana traz como grandes desafios no abastecimento de água manter uma produção que atenda a demanda e manter a qualidade necessária para este abastecimento. Em vista disto novos estudos procuram encontrar alternativas de modo a superar estes desafios atingindo uma melhor eficiência em todo o processo de tratamento. Este estudo possui como objetivo identificar a eficiência de materiais alternativos como composição de leitos filtrantes utilizando um sistema de filtração descendente direta no tratamento de água, associado aos coagulantes *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio através de processos de tratamento comumente utilizados em estações de tratamento de água (ETA). Desenvolveu-se quatro filtros, Filtro de Areia (F1), Filtro de Fibra de Coco (F2), Filtro de Não-tecido Geotêxtil Agulhado (F3), e o Filtro de Borra de Café (F4), e comparou-se os resultados analisando os parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica, cor aparente, turbidez, sólidos totais, coliformes totais, e *Escherichia coli*. O parâmetro temperatura não apresentou grande variação durante a realização dos procedimentos de tratamento de água, o parâmetro pH apresentou variação apenas nos tratamentos onde foi empregado o filtro F4. Quanto ao parâmetro condutividade elétrica, apenas os tratamentos onde houve aplicação da solução coagulante *Moringa oleifera* houve alterações com valores superiores aos demais. Com exceção do tratamento Sulfato de alumínio/F2, todos os demais atingiram valores de eficiência de remoção de turbidez e eficiência de remoção de cor aparente acima dos 95%. Todos os tratamentos apresentaram eficiência de remoção de sólidos totais suficiente para que os valores finais estejam de acordo com o estabelecido em legislação. Não foi possível identificar eficiência na remoção de coliformes fecais e *Escherichia coli* que estejam de acordo com os limites estabelecidos em legislação uma vez que não foi analisado o processo de desinfecção. Dentre os dois coagulantes utilizados, o Sulfato de alumínio atingiu os melhores resultados e o filtro que apresentou melhor desempenho foi o filtro de não-tecido geotêxtil agulhado (F3), sendo que em todos os tratamentos onde há o emprego deste os parâmetros permaneceram dentro dos limites estabelecidos em legislação, com exceção dos parâmetros microbiológicos, onde novamente os tratamentos onde houve o emprego do filtro F3 atingiram os melhores resultados de remoção. O tratamento Sulfato de alumínio/F3 apresentou o melhor conjunto de resultados, já o tratamento cujo coagulante empregado foi a *Moringa oleifera* que apresentou o melhor conjunto de resultados foi *Moringa oleifera*/F3. Sugere-se a continuação deste trabalho de maneira a aperfeiçoar os filtros quanto a espessura ideal das camadas dos materiais que compõem o leito filtrante, e adicionar o processo de desinfecção para obtenção de um processo de tratamento completo.

Palavras-chave: Filtração, *Moringa oleifera*, Sulfato de alumínio.

ABSTRACT

VIZIBELLI, D. **Evaluation of different materials used in the composition of filters when associated with the application of coagulants in water treatment.** 2019. 60p. Graduation in Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

The exponential growth of the human population presents as major challenges in the water supply to maintain a production that meets the demand and maintain the necessary quality for this supply. In view of this new studies seek to find alternatives in order to overcome these challenges, achieving a better efficiency throughout the treatment process. This study aims to identify the efficiency of alternative materials such as filter bed composition using a direct downward filtration system in the treatment of water associated with *Moringa oleifera* and Aluminum sulphate coagulants through treatment processes commonly used in water treatment plants. Four filters were developed, Sand Filter (F1), Coconut Fiber Filter (F2), Needle Geotextile Filter (F3), and Coffee Grounds Filter (F4), and the results were compared by analyzing the pH, temperature, electrical conductivity, apparent color, turbidity, total solids, total coliforms, and *Escherichia coli*. The temperature parameter did not show great variation during the water treatment procedures, the pH parameter presented variation only in the treatments where the F4 filter was used. Regarding the electrical conductivity parameter, only the treatments where *Moringa oleifera* coagulant solution was applied showed higher values than the others. With the exception of the Aluminum sulphate/F2 treatment, all the others reached values of turbidity removal efficiency and apparent color removal efficiency above 95%. All treatments showed sufficient total solids removal efficiency so that the final values are in accordance with the legislation. It was not possible to identify efficiency in the removal of fecal coliforms and *Escherichia coli* that comply with the limits established in legislation since the disinfection process was not analyzed. Among the two coagulants used, the Aluminum sulphate achieved the best results and the filter that presented the best performance was the filter of needle geotextile (F3), and in all treatments where it is used, the parameters remained within the limits established in legislation, except for the microbiological parameters, where again the treatments where the F3 filter was used achieved the best removal results. The treatment of Aluminum sulphate/F3 presented the best set of results, the treatment whose coagulant employee was the *Moringa oleifera* that presented the best set of results was *Moringa oleifera*/F3. It is suggested to continue this work in order to improve the filters as to the ideal thickness of the layers of the materials composing the filter bed, and to add the disinfection process to obtain a complete treatment process.

Key words: Filtration; *Moringa oleifera*; Aluminum sulphate.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ÁRVORE <i>MORINGA OLEIFERA</i> , PERFIL E DETALHE DAS FOLHAS E FLORES	29
FIGURA 2 – SEMENTES DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> COM E SEM CASCA	30
FIGURA 3 - A) LABORATÓRIO DE RECURSOS HÍDRICOS – UTFPR. B) LABORATÓRIO DE SOLOS - UTFPR	31
FIGURA 4 - EQUIPAMENTO JAR-TESTE MARCA NOVA ÉTICA, MODELO 218 – LDB/06	33
FIGURA 5 – A) FILTRO DE AREIA (F1). B) FILTRO DE FIBRA DE COCO (F2). C) FILTRO DE NÃOTECIDO GEOTÊXIL AGULHADO (F3). D) FILTRO DE BORRA DE CAFÉ (F4)	34
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DAS CAMADAS DO FILTRO DE AREIA (F1)	35
FIGURA 7 – AGITADOR ELETROMAGNÉTICO	36
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO DAS CAMADAS DO FILTRO DE NÃOTECIDO GEOTÊXIL (F3) ...	36
FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO DAS CAMADAS DO FILTRO DE FIBRA DE COCO (F2)	37
FIGURA 10 – APLICAÇÃO DO HEXANO NA BORRA DE CAFÉ COMO SOLVENTE DE LIPÍDEOS ...	38
FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO DAS CAMADAS PRESENTES NO FILTRO DE BORRA DE CAFÉ (F4)	39
FIGURA 12 – SELADORA QUANTI-TRAY SEALER MODEL 2X.....	40
FIGURA 13 – CÂMARA ESCURA LUZ UV, E PLACAS QUE APRESENTARAM LUMINESCÊNCIA AZUL	41
FIGURA 14 – GRÁFICO PARÂMETRO TEMPERATURA	43
FIGURA 15 – GRÁFICO PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	44
FIGURA 16 – GRÁFICO EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR APARENTE.....	47
FIGURA 17 – GRÁFICO EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ.....	50
FIGURA 18 – GRÁFICO EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS	54
FIGURA 19 – GRÁFICO PARÂMETRO PH	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PADRÕES DE POTABILIDADE PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5/2017 MINISTÉRIO DA SAÚDE	21
TABELA 2 – RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS, METODOLOGIA E EQUIPAMENTO UTILIZADOS NA ANÁLISE DAS AMOSTRAS	39
TABELA 3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA	42
TABELA 4 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PARÂMETRO TEMPERATURA	44
TABELA 5 – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ANTES E APÓS A PASSAGEM PELOS FILTROS EM TRATAMENTOS QUE RECEBERAM <i>MORINGA OLEIFERA</i> COMO COAGULANTE.....	45
TABELA 6 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PARÂMETRO CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	46
TABELA 7 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR APARENTE ANTES E APÓS A PASSAGEM PELOS FILTROS	47
TABELA 8 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PARÂMETRO COR APARENTE	48
TABELA 9 – TESTE DE TUKEY COM SIGNIFICÂNCIA DE 5% PARA O PARÂMETRO COR APARENTE	49
TABELA 10 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ ANTES E APÓS A PASSAGEM PELOS FILTROS	50
TABELA 11 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ.....	52
TABELA 12 – TESTE DE TUKEY COM SIGNIFICÂNCIA DE 5% PARA O PARÂMETRO TURBIDEZ.	52
TABELA 13 – EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS ANTES E APÓS A PASSAGEM PELOS FILTROS	53
TABELA 14 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PARÂMETRO SÓLIDOS TOTAIS.....	55
TABELA 15 – TESTE DE TUKEY COM SIGNIFICÂNCIA DE 5% PARA O PARÂMETRO SÓLIDOS TOTAIS	55
TABELA 16 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O PARÂMETRO PH.....	57
TABELA 17 – TESTE DE TUKEY COM SIGNIFICÂNCIA DE 5% PARA O PARÂMETRO PH	58
TABELA 18 – CONTAGEM DE COLIFORMES TOTAIS.....	59
TABELA 19 – CONTAGEM DE <i>ESCHERICHIA COLI</i>	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 S RECURSOS HÍDRICOS.....	15
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA	16
3.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁGUA	16
3.2.1.1 TEMPERATURA	16
3.2.1.2 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	17
3.2.1.3 TURBIDEZ.....	17
3.2.1.4 COR.....	18
3.2.1.5 SÓLIDOS TOTAIS	18
3.2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA ÁGUA	20
3.2.2.1 POTENCIAL HIDROGÊNIONICO (PH)	20
3.2.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DA ÁGUA.....	20
3.2.3.1 COLIFORMES	20
3.3 LEGISLAÇÃO.....	21
3.3.1 PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5/2017 MINISTÉRIO DA SAÚDE	21
3.4 TRATAMENTO DA ÁGUA	22
3.4.1 COAGULAÇÃO	22
3.4.2 FLOCULAÇÃO.....	24
3.4.3 DECANTAÇÃO	24
3.4.4 FILTRAÇÃO	25
3.5 COAGULANTE INORGÂNICO <i>SULFATO DE ALUMÍNIO</i>	28
3.6 COAGULANTE ORGÂNICO <i>MORINGA OLEÍFERA</i>	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 LOCAL DE ORIGEM DAS AMOSTRAS.....	31
4.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	31
4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	32
4.4 PRÉ-ENSAIO	32

4. 5 ENSAIO LABORATORIAL.....	33
4. 5.1 COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO, E SEDIMENTAÇÃO	33
4. 5.2 FILTRAÇÃO	34
4. 6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS.....	39
4. 7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA BRUTA.....	42
5.2 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA.....	42
5.2.1 TEMPERATURA	42
5.2.2 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	44
5.2.3 COR APARENTE	46
5.2.4 TURBIDEZ.....	49
5.2.5 SÓLIDOS TOTAIS	53
5.3 ANÁLISES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DA ÁGUA.....	56
5.3.1 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	56
5.4 ANÁLISES DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS DA ÁGUA	59
5.4.1 COLIFORMES TOTAIS	59
5.4.2 <i>ESCHERICHIA COLI</i>	60
6. CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Não há vida sem a presença de água em nosso planeta, um fato que comprova esta afirmação é a própria constituição dos organismos vivos, sendo animais ou plantas, que em sua grande maioria é composta de água. O ser humano por exemplo, possui, aproximadamente, 65% do seu corpo constituído por água, e necessita de cerca de 2,5 litros de água por dia para se manter, não podendo ficar sem água por mais de dois ou três dias (BRUNI, 1994).

Segundo a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, o território brasileiro contem cerca de 12% de toda a água doce do planeta. Porém, mesmo com a grande abundância e o fácil acesso, se comparado a outros países, a este recurso, não está garantido o abastecimento de água pela rede geral a 100% dos domicílios brasileiros.

Dados do IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, mostram que em 2017 o país tinha 69,8 milhões de domicílios, dos quais 67,8 milhões (97,2%) possuíam água canalizada, sendo assim quase 2 milhões de domicílios não possuem acesso a água canalizada e potável, consumindo água sem nenhum tratamento.

O papel essencial da água para a sobrevivência humana gera uma demanda crescente por este recurso uma vez que a população mundial continua a crescer. Tecnologias novas e aperfeiçoamentos são necessários então para garantir o abastecimento das comunidades.

No processo de coagulação, etapa comum no tratamento de água, estuda-se a inserção de novos coagulantes, em especial os orgânicos, para garantir ao lodo gerado pelo processo redução de volume e características que facilitem o seu tratamento, além de manter o objetivo principal deste processo que é a redução de carga de sólidos a tratamentos posteriores. Plantas como a *Moringa oleifera* são um exemplo quando se fala do estudo de coagulantes alternativos, Paterniani et al. (2009) avalia seu uso e cita suas características demonstrando sua empregabilidade no tratamento de água.

Já no processo de filtração, podemos encontrar diversos estudos de modo a avaliar leitos filtrantes de materiais alternativos, como o não tecido geotêxtil agulhado de acordo com estudos de Ferraz e Paterniani (2002), e outros materiais diversos

como os derivados da borra de café (BATISTA, 2008) e filtros de fibras de coco (LO MONACO et al., 2009).

Visto isso, este trabalho tem como objetivo identificar a eficiência de materiais alternativos como composição de leitos filtrantes para o sistema de filtração descendente direta no tratamento de água, associado aos coagulantes *Moringa oleifera* e Sulfato de alumínio através de um processo coagulação/floculação/sedimentação/filtração.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é identificar a eficiência de materiais alternativos como composição de leitos filtrantes para o sistema de filtração descendente direta no tratamento de água, associado aos coagulantes *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio através de um processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o acompanhamento físico/químico dos parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura durante o processo de sedimentação e após a filtração, e analisar a eficiência de remoção dos parâmetros turbidez, cor aparente sólidos totais após o tratamento de água;
- Realizar análises microbiológicas após o processo de filtração através da contagem de coliformes totais e *Escherichia coli*;
- Avaliar a associação dos coagulantes *Moringa oleifera* e Sulfato de Alumínio ao processo de tratamento;
- Realizar um comparativo entre os resultados finais e a legislação vigente, Portaria de Consolidação nº5/2017 Ministério da Saúde.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

O planeta Terra possui cerca de 75% da sua superfície coberta por água, estima-se que esta porcentagem se traduza em um volume aproximado de 1,4 bilhões de km³ sendo que 97,5% deste volume corresponde a água salgada, de mares e oceanos. Excluindo a parte de água salgada restam apenas 2,5% de águas doces, sendo que estas estão em sua maior parte, cerca de 69,6%, em forma sólida compondo as geleiras, 29,9% são águas subterrâneas, nem sempre de fácil acesso, e apenas 0,4% estão disponíveis na forma de águas doce superficiais, de fácil captação e tratamento para abastecimento das populações (MACÊDO, 2007).

Segundo dados de 2012 da Agência Nacional de Águas (ANA) os setores que consomem água no Brasil são responsáveis pela utilização de 72% de produção total de água limpa para agricultura, 11% no consumo animal, 9% no abastecimento urbano e 7% nas indústrias. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apresentou dados de 2015 onde o consumo de água per capita do brasileiro foi de 108,4 Litros.dia⁻¹.

Quando observamos as projeções de aumento da população concluímos que o consumo de recursos hídricos deve continuar aumentando pelo menos até que seja alcançado o chamado pico populacional, momento em que a população passará de crescimento para redução.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio de uma revisão realizada em 2013 apresentou dados em que o pico populacional brasileiro acontecerá em 2047, onde a população brasileira será de aproximadamente 233 milhões de habitantes, já os dados da Organização das Nações Unidas (ONU), revisados em 2017, apresentam um pico populacional mundial de 9,789 bilhões de habitantes em 2080.

A dificuldade crescente em abastecer as comunidades com água não se concentra apenas no fato do aumento do consumo. As águas a serem consumidas pelo ser humano nas mais diversas utilidades necessitam respeitar limites em suas características físicas, químicas, e biológicas, específicas para que estas não comprometam o propósito de sua utilização. Estes limites reconhecidos em legislação

para a utilização da água, principalmente no âmbito de abastecimento, são conhecidos como padrões, dentre eles os Padrões de Potabilidade que descrevem os limites que as características devem respeitar para que a água possa ser utilizada no abastecimento urbano para consumo (RICHTER e NETTO, 1991).

Todo o recurso hídrico utilizado para atividades antrópicas recebem algum tipo de carga poluidora que pode inclusive incluir a contaminação por substâncias tóxicas. Estas cargas alteram as características da água gerando degradação da qualidade da mesma, e esta degradação é a responsável pela preocupação com os recursos hídricos desenvolvida pelo homem atualmente (LIBÂNIO, 2010).

3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

A água é o solvente universal da maioria das substâncias, reagindo com elas de maneira a se modificar e a modificá-las, em razão deste fato a água nunca é encontrada completamente pura na natureza, e estas impurezas que estão associadas à água, conferem a ela certas características que se dividem em três grandes grupos, as características físicas, químicas e biológicas (HELLER e PÁDUA, 2010).

3.2.1 Características físicas da água

3.2.1.1 Temperatura

A temperatura da água indica a quantidade presente de energia cinética proveniente do movimento aleatório das partículas do fluido, geralmente sofre alteração por influência de fenômenos naturais, como a incidência de radiação solar, ou alteração antrópica, causada, por exemplo, quando há despejo de efluentes com temperatura diferente em um rio. Sua importância maior se dá por seu reflexo sobre características e propriedades como, por exemplo, as reações químicas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

As água em regiões brasileira possuem faixa de temperatura média constante entre 20°C e 30°C, e apresentam vantagem em relação a águas localizadas em regiões de clima temperado, em se tratando do processo de coagulação. Regiões tropicais por possuírem faixa de variação menos significativa e temperaturas médias

mais elevadas possuem vantagem no processo de coagulação devido a este ocorrer de forma menos eficientes em baixas temperaturas (BELISARIO JUNIOR, 2016).

3.2.1.2 Condutividade elétrica

A água apresentando a característica de solvente universal garante a presença de substâncias dissolvidas em seu meio, substâncias estas que se dissociam em íons catiônicos e aniônicos, estes íons dissociados em meio da água, ou meio aquoso, garantem a água a capacidade de transmitir a corrente elétrica, que recebe o nome de condutividade elétrica (BRASIL, 2014).

Como os sais são partículas comumente dissolvidas em água e seus íons conferem capacidade condutora de eletricidade, o aferimento da condutividade elétrica é um indicativo de salinidade da água, fator de grande importância (LIBÂNIO, 2010).

A medição de condutividade elétrica pode ser utilizada também como indicativo se há lançamento de efluente, traduzidos em concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT), porém esta relação não se dá de maneira direta, mas tal correlação torna-se possível (BRASIL, 2014).

3.2.1.3 Turbidez

Turbidez é a medida do grau de interferência da passagem da luz, relacionado a presença de partículas em suspensão na água. Esta interferência ocorre por mecanismos de dispersão e absorção do feixe de luz (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A turbidez em corpos de água tende a apresentar valores maiores em regiões onde o solo possui características erosivas causando assim desprendimento do material e o carreamento deste ao corpo hídrico, velocidades maiores e turbulência também influem neste parâmetros aumentando seus valores, sendo assim, lagos, lagoas e represas tendem a apresentar menores valores de turbidez, pois os sólidos em suspensão geralmente são passíveis de sedimentação quando não há fluxo intenso e turbulência na massa de água (BRASIL, 2014).

Cada vez mais a medida de turbidez, e sua remoção, vem sendo reconhecida mundialmente no tratamento de água, não só pelo seu efeito estético visual, mas por

ser considerada imprescindível no aumento de eficiência do processo de desinfecção e inativação de microrganismos e vírus. Isso por que os sólidos em suspensão podem servir de abrigo aos microrganismos e vírus durante os processos de desinfecção e inativação, reduzindo a eficiência destes (LIBÂNIO, 2010; RICHTER e NETTO, 1991).

3.2.1.4 Cor

Segundo Macêdo (2007), a cor presente na água é resultado da reflexão da luz em partículas coloidais de dimensões inferiores a $10\mu\text{m}$, dispersas, e predominantemente de origem orgânica, também conhecidas como sólidos dissolvidos totais (SDT).

Estas partículas possuem origem natural na ação metabólica de microrganismos, e na decomposição da matéria orgânica vegetal, e podem possuir origem antrópica também, em despejo de efluentes ou recebimento de lixiviação oriunda de ambientes com ação do homem (LIBÂNIO, 2010; RICHTER e NETTO, 1991).

Assim como a turbidez, a presença de cor na água pode interferir nos processos de desinfecção e inativação de microrganismos, fornecendo proteção durante a realização destes processos. O elemento ferro é o principal na produção de cor intensa em corpos hídricos, e a cor está fortemente relacionada ao pH da água, sendo que sua remoção é facilitada quando os valores de pH são mais baixos (RICHTER e NETTO, 1991).

A determinação da cor pode se dar de maneira a determinar a cor aparente ou a cor verdadeira, a diferença entre elas é que na primeira não se exclui os sólidos em suspensão. Para a determinação de cor verdadeira é necessário um processo de centrifugação ou filtração, retendo os sólidos em suspensão contidos na amostra (BRASIL, 2014).

3.2.1.5 Sólidos totais

Caracterizam sólidos toda a matérias em estado rígido e com forma definida. Os sólidos presentes na água são caracterizados por dois aspectos principais, sendo seu tamanho e a sua volatilidade. Estas características dividem os sólidos em sólidos

totais, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, sólidos fixos, sólidos voláteis, e sólidos sedimentáveis (BRASIL, 2014).

Segundo Macêdo (2007), os sólidos podem ser definidos e separados de acordo com as seguintes definições:

- Sólidos Totais: toda a fração remanescente após a secagem de uma amostra a temperatura de 180°C;
- Sólidos Voláteis Totais: fração volátil após calcinação a 550°C dos sólidos totais;
- Sólidos Fixos Totais: fração remanescente após calcinação a 550°C dos sólidos totais;
- Sólidos Dissolvidos Totais: Sólidos que não fiquem retidos em membrana de vidro com porosidade $\leq 1,2\mu\text{m}$;
- Sólidos Dissolvidos Voláteis: fração volátil dos sólidos dissolvidos totais após calcinação a 550°C;
- Sólidos Dissolvidos Fixos: fração remanescente dos sólidos dissolvidos totais após calcinação a 550°C;
- Sólidos Suspensos Totais: Sólidos retidos em membrana de vidro com porosidade $\leq 1,2\mu\text{m}$;
- Sólidos Suspensos Voláteis: fração volátil dos sólidos suspensos totais após calcinação a 550°C;
- Sólidos Suspensos Fixos: fração remanescente dos sólidos suspensos totais após calcinação a 550°C;
- Sólidos Sedimentáveis: fração de sólidos suspensos em um litro, que sofrem sedimentação por ação da gravidade em um intervalo de uma hora, utilizando o cone de Imhoff.

Alguns sais minerais possuem volatilidade baixa, dentro das faixas de temperatura utilizadas o que impede classificar os sólidos voláteis como somente a parte orgânica dos sólidos. Os sólidos totais dissolvidos possuem faixa limite prevista em legislação devido ao fato que destes causarem a presença de cor e que altas concentrações causam corrosão e gosto (HELLER e PÁDUA, 2010).

3.2.2 Características químicas da água

3.2.2.1 Potencial hidrogênionico (pH)

O potencial hidrogênionico traduz se o meio apresenta condições ácidas ou alcalina através da medição da concentração de ions H^+ em uma escala antilogaritmica na faixa de 0 a 14, sendo valores próximos de zero indicando acidez e valores próximos de 14 indicando meio alcalino (BRASIL, 14).

O pH influi no potencial de toxicidade de vários elementos, e no grau de solubilidade de várias substâncias, esta última provocando alterações na cor das águas uma vez que pode haver maior presença de íons ou não, implicando na reflexão da luz. Porém seu controle se dá principalmente devido ao fato que meios muito ácidos são corrosivos e meios muito alcalinos favorecem a formação de incrustações, estas duas situações podem prejudicar as redes de adutoras e redes de distribuição, elevando o custo de manutenção destas (VON SPERLING, 2007).

3.2.3 Características biológicas da água

3.2.3.1 Coliformes

As águas possuem características biológicas pelo fato de constituírem habitat de ambiente aquático onde há a presença de inúmeros microrganismos, dentre eles, bactérias do grupo coliformes, caracterizadas por habitarem o trato intestinal de animais de sangue quente, assim, sua presença torna-se um indicativo da presença de fezes destes animais nas águas (BRASIL, 2014).

Dentre os objetivos do tratamento de água para consumo humano, a não transmissão de doenças se destaca entre os principais, sendo que a grande maioria de doenças que são transmitidas pelo consumo de água, são transmitidas por organismos patogênicos eliminados pelas fezes, o que demonstra o estado de contaminação das águas e as condições de saneamento básico da região (VON SPERLING, 2007).

Coliformes totais são um grupo de bactérias de origem fecal capazes de sobreviver na água. Dentro deste grupo há as bactérias classificadas como coliformes termotolerantes, caracterizadas por tolerarem temperaturas acima de 40° , e por se

reproduzirem nessa temperatura em um curto espaço de tempo. Dentre os gêneros pertencentes ao grupo coliformes termotolerantes está, por exemplo, o gênero *Escherichia*, representado principalmente pela *Escherichia coli* uma bactéria que causa problemas principalmente ligados a infecções no trato digestivo (LIBÂNIO, 2010).

3.3 LEGISLAÇÃO

Em se tratando de legislações que englobem a classificação e o tratamento de água encontramos dois dispositivos em diferentes áreas na legislação brasileira, as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, e as portarias do Ministério da Saúde.

3.3.1 Portaria de consolidação nº5/2017 Ministério da Saúde

Substituindo a antiga portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a Portaria de Consolidação nº5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) diz respeito a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Em seu Capítulo V, Seção II, Art. 129 fica estabelecido o Anexo XX que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Os padrões de potabilidade estabelecidos no Capítulo V do Anexo XX da Portaria nº5 da Consolidação estão organizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de potabilidade Portaria de Consolidação nº5/2017 Ministério da Saúde.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo permitido
pH	-	6,0 a 9,5
Turbidez	uT	0,5
Cor parente	uH	15
Sólidos dissolvidos totais	mg.L ⁻¹	1000
Coliformes totais	-	Ausência
<i>Escherichia coli</i>	-	Ausência

Fonte: BRASIL, 2017.

Ressaltando que as unidades de turbidez e cor aparente seguem uT sendo unidades de turbidez, e uH sendo unidades Hazen (mgPt-Co.L⁻¹) respectivamente.

O valor máximo permitido para o parâmetro turbidez apresentado na Tabela 1 é correspondente ao valor máximo permitido quando o tratamento é submetido a filtração direta. Para o parâmetro temperatura, só é exigido valores máximos e mínimos dependendo do ensaio que será realizado. E o parâmetro condutividade elétrica não apresenta faixas e limites de tolerância em legislação.

A Portaria de Consolidação nº5/2017 Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) define ainda *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal estabelecendo ausência em 100mL para águas de consumo humano, e Coliformes totais como indicador de eficiência de tratamento, estabelecendo ausência em 100mL para água tratada na saída do tratamento, e indicador de integridade do sistema de distribuição, estabelecendo limite de apenas uma amostra positiva ao mês em sistemas que abastecem menos de 20 mil habitantes, e ausência em 95% das amostras examinadas ao mês em sistemas que abastecem mais de 20 mil habitantes.

3.4 TRATAMENTO DA ÁGUA

Toda a água disponível no nosso planeta apresenta uma concentração de inúmeras impurezas dentre as quais muitas podem ser perigosas e nocivas ao humanos, como por exemplo parasitas, bactérias, vírus e substâncias tóxicas. O tratamento das águas deve ser empregado apenas quando há a necessidade de atender os níveis de qualidade e os padrões de potabilidade exigidos pelas legislações (RICHTER e NETTO, 1991).

Di Bernardo e Dantas (2005) citam os diversos processos de tratamento de águas, como a coagulação, a floculação, a sedimentação, a filtração, e a desinfecção, e definem a qualidade da água bruta como o fator decisivo na escolha destes processos e tecnologias para o tratamento.

3.4.1 Coagulação

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), as impurezas geralmente encontradas nas águas normalmente possuem cargas negativas sendo necessário a alteração das forças iônicas do meio para a sua aglutinação. A coagulação consiste na

desestabilização e agregação destas impurezas, partículas coloidais suspensas, por meio da adição de substâncias químicas à água.

A relevância da coagulação se comprova a muito tempo em estações de tratamento de água principalmente quando este processo antecede a etapa de filtração (LIBÂNIO, 2010).

Para que a coagulação seja eficiente é necessário a agitação intensa por um período curto de tempo, etapa esta conhecida nas estações de tratamento de água como mistura rápida, e de acordo com o agente coagulante empregado podem ocorrer diferentes mecanismos que atuam no processo de coagulação, sendo estes: compressão da dupla camada elétrica, adsorção e neutralização de cargas, varredura, e adsorção e formação de pontes (ALUVINO, 2015).

A compressão da dupla camada elétrica ou camada difusa, consiste na adição de íons de carga contrárias às partículas coloidais causando a desestabilização das mesmas, estes íons atravessam esta camada reduzindo sua espessura e permitindo a aproximação de outras partículas (PAVANELLI, 2001).

O mecanismo de adsorção e neutralização de cargas desestabiliza as partículas por meio da formação de íons positivos absorvidos pela superfície das partículas, gerados pela hidrólise do coagulante. Esta ação ocorre de maneira imediata quando o coagulante é adicionado à água a ser tratada (KAWAMURA, 2000).

Ainda de acordo com o mesmo autor, o mecanismo de varredura é o mais recorrente nas estações de tratamento de água, neste mecanismo, conforme a concentração do coagulante e o valor do pH, ocorre a adsorção das partículas coloidais e o envolvimento das partículas suspensas pelos precipitados gerados, normalmente hidróxido de alumínio. O flóculo gerado por este mecanismo possui maior peso e tamanho, possibilitando a sedimentação com maior facilidade e em menor tempo.

A adsorção e formação de pontes consiste no emprego de polímeros de grandes cadeias moleculares, denominadas monômeros, que possuem a função de ligação entre superfícies de partículas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

As características da água bruta são o principal fator a ser observado na escolha do coagulante que deve ser utilizado no tratamento. O coagulante deve possuir como característica principal a capacidade de desestabilizar ou envolver as partículas coloidais e as partículas suspensas na água, sendo esta uma etapa crucial

que irá refletir nos resultados das demais etapas a serem empregadas no tratamento (LIBÂNIO, 2010).

3.4.2 Floculação

A floculação é um processo intrinsicamente ligado a coagulação. Após a desestabilização das partículas coloidais presentes na água pela ação de um agente coagulante sobre intensa agitação, definindo o processo de coagulação, a floculação acontecerá quando essas partículas desestabilizadas se atraírem ou se chocarem, formando aglutinações chamadas flóculos (MORUZZI et al., 2015).

A eficiência do processo de floculação, ligada intrinsicamente a eficiência da coagulação, influencia diretamente fatores importantes para o processo de filtração, sendo que, caso a geração de flóculos esteja acontecendo de maneira ineficiente, o número de partículas carregadas para as unidades filtrantes será maior, causando problemas como a redução dos intervalos de lavagem dos filtros, o que interfere nos custos de operação e manutenção da estação de tratamento (KAWAMURA, 2000; DALSSASSO e SENS, 2006).

3.4.3 Decantação

Pela própria condição natural do processo, a sedimentação provavelmente é o processo de tratamento de água mais antigo utilizado pelo homem. Este processo consiste na separação das fases líquida e sólida por meio de forças, velocidades e acelerações derivadas da gravidade que acabam por causar um movimento descendente das partículas sólidas presentes na água (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A ocorrência da sedimentação precedida por adição de agentes coagulantes e formação de flóculos consiste em etapas do processo de clarificação do líquido, processo este usado em grande parte das estações de tratamento. Geralmente a sedimentação traduz em resultados a eficiência dos processos de coagulação e floculação que a precedem (MACÊDO, 2007).

O processo de sedimentação das partículas e flóculos recebem o nome de decantação, e se realiza em uma estação de tratamento de água em unidades chamadas de tanques de decantação ou decantadores (RICHTER e NETTO, 1991).

Di Bernardo e Dantas (2005) salientam a importância do processos de coagulação e floculação serem empregados previamente para que haja sucesso na sedimentação. Partículas menores, como as partículas coloidais, possuem baixa velocidade de sedimentação o que as torna de difícil separação do meio líquido, os processos de coagulação e floculação devem ser empregados de modo a gerar flóculos e partículas com maior velocidade de sedimentação possibilitando a empregabilidade e eficiência da técnica.

3.4.4 Filtração

A filtração é um processo de separação dos meios sólido e líquido, retendo impurezas como partículas suspensas e flóculos, e microrganismos presentes na água através de um meio poroso (RICHTER e NETTO, 1991).

A filtração é atribuída a função mais importante no tratamento da água, esta etapa adquire protagonismo devido ao fato de ser o processo final na remoção de impurezas em uma estação de tratamento de água. Cabe a filtração a contenção de falhas por ventura ocorridas em processos anteriores (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A remoção das impurezas, partículas e microrganismos da água através da filtração se dá pela retenção das mesmas nos espaços vazios e poros do meio filtrante, esta característica permite ao filtro a remoção de partículas responsáveis pela cor e pela turbidez da água, cuja presença pode reduzir a eficiência dos processos de desinfecção e inativação dos microrganismos, dentre eles os patogênicos (LIBÂNIO, 2010).

O processo de filtração pode ser dividido em duas classificações quanto a velocidade com que a água atravessa o leito filtrante, velocidades baixas recebem a denominação de filtro lento, com taxas de 3 a 6 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, e velocidades altas recebem a denominação de filtro rápido, com taxas de 80 a 600 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Para o sistema de filtração rápido é necessário o pré tratamento da água com processos de coagulação e floculação, já para o sistema de filtração lento não há a necessidade de um pré tratamento, porém isso influi no aumento do nível de qualidade da água a ser captada para tratamento neste sistema. Há ainda outras características que definem a classificação dos leitos filtrantes, como a direção do fluxo de água, podendo ser descendente ou ascendente (REIS, 2014).

Para Libanio (2010) a filtração rápida ocorre por resultado da presença de mecanismos de transporte, responsáveis por aproximar as impurezas a superfície do material que compõe o leito filtrante, como por exemplo os grãos de areia, e mecanismos de aderência, forças superficiais que permitem a adesão das impurezas a superfície do material que compõe o leito filtrante.

Di Bernardo e Dantas (2005) descrevem cinco mecanismos de transporte, sendo eles o impacto inercial, a interceptação, a sedimentação, a difusão, e a ação hidrodinâmica. Mecanismos estes descritos da seguinte maneira:

- Impacto inercial: partículas maiores e mais pesadas adquirem velocidade suficiente para manter uma trajetória divergente das linhas de corrente e se chocarem com os grãos;
- Ação hidrodinâmica: remoção de partículas de maiores dimensões decorrente de um conjunto de ações de forças tangenciais que favorecem a deposição destas partículas na superfície dos grãos;
- Interceptação: Quando a distância das linhas de corrente for menor que o raio das partículas forças de atração vão favorecer o choque entre grão e partícula e a deposição desta última na superfície do grão;
- Difusão: o transporte de moléculas menores resultado do movimento browniano provocado pelo choque das moléculas de água com as partículas;
- Sedimentação: relacionado a velocidade de sedimentação das partículas que pode causar o cruzamento com as linhas de corrente causando a deposição da partícula na superfície do grão.

Os mecanismos de aderência possuem influência de fenômenos químicos, mecanismos de ligação que aderem as partículas e as impurezas na superfície do material de leito filtrante, estes mecanismos são forças de van der Waals, interações eletrostáticas, adsorções específicas, e interações químicas (LIBÂNIO, 2010).

Os materiais que integram o leito filtrante de um filtro são de suma importância para a sua eficiência, as características primordiais destes materiais que devem ser observadas são porosidade, dureza, densidade, tamanho, e forma e geometria (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Dentre os materiais utilizados como composição do leito filtrante se destaca o mais comum, a areia. Este material é utilizado em filtros de camada simples, composta apenas por um único material, em filtros de camada dupla, quando associado a uma camada de antracito, e em filtros de camada tripla, na combinação com outros materiais (MACÊDO, 2007).

Ioshimura (2016) apresenta um estudo de comparação de leitos filtrantes de camada simples composta por areia, diferenciados entre si pela faixa de granulometria utilizada em cada filtro. A filtração rápida precedida por etapas de coagulação, floculação, e sedimentação demonstrou eficiência de remoção de turbidez superior aos 90% em dois dos três tipos de filtros, e eficiência de remoção de cor aparente acima dos 90% para dois dos três tipos de filtros, quanto a eficiência de remoção de sólidos totais, dois filtros apresentaram valores acima dos 70%.

Uma grande variedade de materiais vem sendo estudadas quanto ao seu potencial de serem empregados no leito filtrante de um filtro, entre eles estão a manta não-tecido geotêxtil agulhado, a fibra de coco, e até mesmo a torta de café, material derivado da borra de café.

Arantes et al. (2014) apresenta em seu estudo um filtro de não-tecido geotêxtil agulhado 300 g.cm^{-2} de aproximadamente 15 mm de espessura utilizado no tratamento de uma água bruta produzida em laboratório. O processo teve como pré tratamento coagulação, floculação e sedimentação, e apresentou resultados próximos de 99% de remoção de turbidez, quando o tratamento teve o emprego dos coagulantes Tanino e *Moringa oleifera*.

Lo Monaro et al. (2009) apresentou um estudo sobre fibra de coco utilizado como material filtrante para tratamento de água residuária de suinocultura, onde o filtro de fibra de coco por ele construído apresentou remoções média de 28% de nitrogênio e de 58% de fósforo, e se mostrou eficiente na remoção de sólidos totais (ST), sólidos voláteis totais (SVT), sólidos fixos totais (SFT), e sólidos suspensos totais (SST), removendo 40%, 60%, 50%, e 70% respectivamente.

Batista et al. (2012) desenvolveu um trabalho onde se utilizou um filtro de camada simples cujo leito filtrante constituído por um material chamado de torta de café, resultante da borra de café após a extração de algumas substâncias como óleos e essências. Este filtro foi utilizado na purificação de água contaminada por glifosato e apresentou resultados que demonstraram a possibilidade de utilização deste

material como adsorvente em filtros purificadores na remediação de águas contaminadas por pesticidas.

3.5 COAGULANTE INORGÂNICO *Sulfato de alumínio*

Os coagulantes inorgânicos são comumente mais utilizados no processo de coagulação dentro do tratamento de água devido as suas características já conhecidas como a boa eficiência, o fácil transporte e manejo, além de seu baixo custo. Um destes coagulantes inorgânicos é o sal metálico Sulfato de Alumínio, sendo este o mais utilizado no tratamento de água potável para o abastecimento público (SANTOS, 2011).

A importância do pH da mistura se dá pois, ao ser adicionar o sulfato de alumínio na água, ocorre uma série de reações de hidrólise que liberam íons H^+ , acidificando o pH da mistura. Os baixos valores de pH impedem a formação de precipitado. A efetividade do Sulfato de Alumínio fica restrita a faixa de pH entre 5,5 e 8,5, gerando a necessidade de correção deste pH com cal, por exemplo. (ROSALINO, 2011; SANTOS 2011).

Os coagulantes a base de sais de alumínio, entre eles o sulfato de alumínio, apresentam comumente concentrações de outros metais pesados contaminantes, como o chumbo e o cádmio, estes elementos geralmente são insolúveis e precipitam se acumulando no lodo gerado que se torna inorgânico. Geralmente este lodo gerado oriundo da utilização do sulfato de alumínio, é gelatinoso e volumoso, e não biodegradável (LIBÂNIO, 2010; VAZ et al., 2010).

Em seu estudo, Pereira (2019) utiliza três coagulantes para o tratamento de água, um destes coagulantes é o sulfato de alumínio que apresenta valores de eficiência de remoção de cor aparente próximos a 5%, valores de eficiência de remoção de turbidez próximos a 15%.

A eficiência do coagulante a base de Sulfato de Alumínio pode ainda estar relacionada a fonte de matéria prima na produção deste, uma vez que pode ser extraído de materiais ricos em alumínio como a bauxita e a alumina. Quando extraído da bauxita, o sulfato de alumínio resultante geralmente possui uma maior quantidade de impurezas que quando extraído da alumina, a concentração destas impurezas gera alteração na eficiência do coagulante e no perfil do lodo gerado ao final do tratamento (LIBÂNIO, 2010).

3.6 COAGULANTE ORGÂNICO *Moringa oleifera*

Uma alternativa ecológica que se mostra cada vez mais viável na substituição ou associação de coagulantes químicos no tratamento de água é o uso de coagulantes orgânicos, como a *Moringa oleifera*, que apresentam características como a não toxicidade, a biodegradabilidade e a geração de menores quantidades de lodo com menores concentrações de metais (OLIVEIRA et al. 2018).

Segundo Ramachadran et al. (1980), a *Moringa oleifera* é uma espécie ordinária do noroeste da Índia pertencente à família *Moringaceae*, composta por um único gênero, e quatorze espécies conhecidas. A *Moringa oleifera*, Figura 1, é um espécie de crescimento rápido atingindo uma altura de 5 a 12 metros, ela possui adaptação a uma ampla faixa de solos e cresce em regiões subtropicais secas e úmidas, tropicais muito secas, e florestas úmidas, sendo tolerantes a secas, produzindo flores e frutos (RANGEL, 1999).

Figura 1 – Árvore *Moringa oleifera*, perfil e detalhe das folhas e flores.



Fonte: Autoria própria.

Versiani (2008) apresenta que a introdução da *Moringa oleifera* no Brasil ocorreu por volta de 1950, provavelmente pela Secretaria de Agricultura do Estado do Maranhão, e que a *Moringa oleifera* se adaptou muito bem a região Nordeste brasileira devido a maior incidência de luz solar e temperaturas médias superiores a 25°C,

prosperando hoje como uma cultura cultivada em todo o cinturão tropical nos continentes americano, africano e asiático.

Rangel (1999) classifica a *Moringa oleifera* como uma planta de uso múltiplo pois desta se extrai uma grande variedade de produtos com aplicações distintas que podem ser para o uso industrial, medicinal e alimentício. A *Moringa oleifera* tem sido também objeto de diversos estudos para a aplicabilidade no tratamento de águas.

Paterniani et al. (2009) afirmam que as sementes de *Moringa oleifera*, Figura 2, possuem proteínas de baixo peso molecular que trituradas e dissolvidas em água adquirem cargas positivas atraindo partículas de argilas finas e siltes que possuem cargas negativas, esta atração produz flocos de maior peso e tamanho causando a sedimentação. Este estudo também traz dados da utilização de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais obtendo eficiência no tratamento de água com turbidez variando de 50 a 100 NTU, e apresentando reduções médias dos parâmetros turbidez e cor aparente entre 90 e 96%.

Figura 2 – Sementes de *Moringa oleifera* com e sem casca.



Fonte: Autoria própria.

Algumas vantagens são conferidas a utilização da *Moringa oleifera* como coagulante orgânico no tratamento de água, como a produção da cultura no local, gerando menor custo financeiro, a não toxicidade, a biodegradabilidade, a geração de menores quantidades de lodo com menores concentrações de metais, por não requerer ajustes de pH, e por não causar problemas de corrosão (LO MONACO et al. 2010; IOSHIMURA, 2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE ORIGEM DAS AMOSTRAS

Coletou-se as amostras utilizadas durante os ensaios laboratoriais no Ribeirão Jacutinga, um manancial Classe II, afluente do Rio Tibagi, localizado próximo ao município de Ibiporã, região Norte do Estado do Paraná, utilizado para captação, tratamento e abastecimento da região.

4.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Realizou-se os procedimentos de separação granulométrica e os demais procedimentos para a construção dos filtros no Laboratório de Solos. Já os ensaios laboratoriais de simulação dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração ocorreram no Laboratório de Recursos Hídricos, todos estas instalações pertencentes à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Londrina (Figura 3).

Figura 3 - a) Laboratório de Recursos Hídricos – UTFPR. b) Laboratório de Solos - UTFPR.

a)



b)



Fonte: Autoria própria.

4.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

O volume de amostras coletadas no Ribeirão Jacutinga foi de cerca de 200 litros de água, coletados em dois galões, cada um com um volume de 100 litros. As amostras foram acondicionadas nos próprios galões plásticos onde se realizou a coleta, e reservadas durante 24 horas em temperatura ambiente no Laboratório de Recursos Hídricos até que se deu início as análises laboratoriais.

Para a preparação das soluções coagulantes utilizadas durante os ensaios laboratoriais seguiu-se as seguintes preparações: para a solução de coagulante *Moringa oleifera*, adicionou-se 10 gramas da semente sem casca e 1 molar de Cloreto de Sódio (NaCl) a 1 litro de água destilada, estes componentes foram processados, e então coados em peneira de pano de maneira a se retirar a parte orgânica grosseira, obtendo-se um produto final de concentração de 10g.L^{-1} . Para a solução coagulante de Sulfato de alumínio, foi dissolvido 1g do respectivo coagulante em 1L de água destilada, gerando uma solução de concentração 1g.L^{-1} .

4.4 PRÉ-ENSAIO

Para a determinação das concentrações dos coagulantes aplicados nos tratamentos, é de suma importância a realização de um pré-ensaio onde definiu-se a quantidade exata a ser utilizada de cada solução coagulante, denominada concentração ótima de coagulação.

Para este pré-ensaio utilizou-se 10 béqueres de 100mL contendo uma quantidade padrão de 100mL de amostra de água. Em cada béquer aplicou uma quantidade de solução coagulante, sendo estas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, e 10mL, agitou-se com o auxílio de um bastão de vidro o conteúdo de cada béquer contendo 100mL da amostra e o respectivo volume de coagulante de maneira a dar-se início aos processos de coagulação e floculação. Após alguns minutos, observou-se o béquer que apresentou visualmente uma melhor formação de flocos e sedimentação determinando assim, como a concentração ótima, 6 mL.L^{-1} a ser aplicada nos tratamentos tanto para com o coagulante Sulfato de alumínio quanto para o coagulante *Moringa oleifera*.

4.5 ENSAIO LABORATORIAL

4.5.1 Coagulação, floculação, e sedimentação

Para a reprodução das condições comumente adotadas em uma estação de tratamento de água (coagulação, floculação e sedimentação), utilizou-se o equipamento Jar-test ou Teste dos Jarros, marca Nova Ética, modelo 218 – LDB/06, contendo seis jarros de 2 litros cada, e um controle da velocidade de rotação das pás misturadoras, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Equipamento Jar-teste marca Nova Ética, modelo 218 – LDB/06.



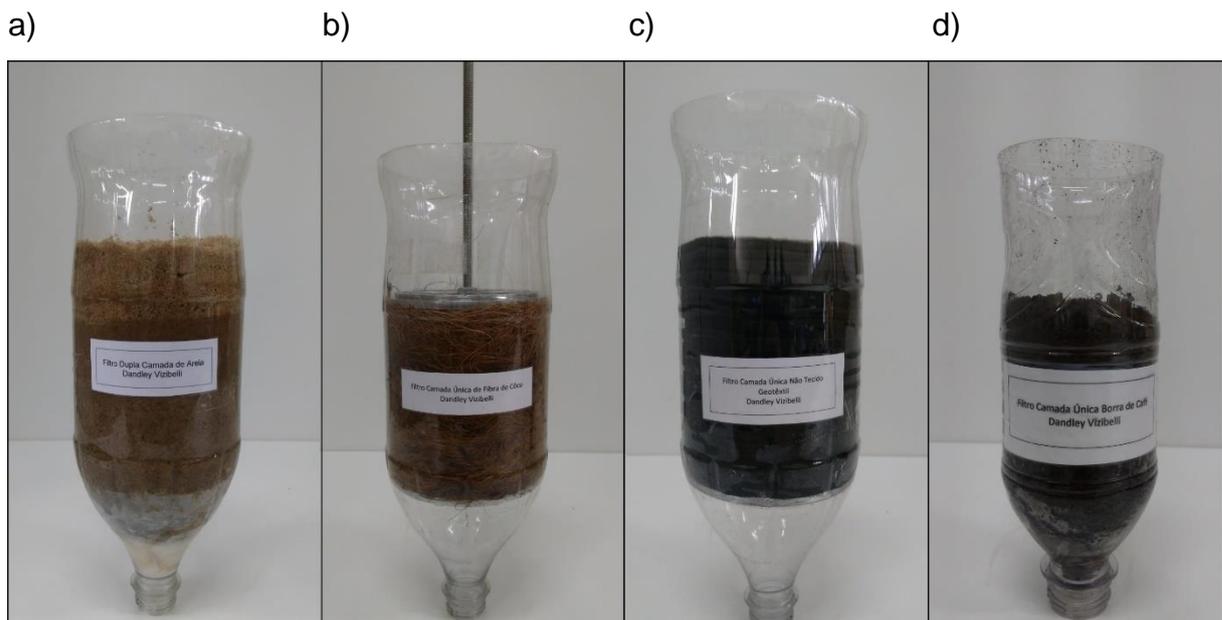
Fonte: Autoria própria.

Durante a utilização do equipamento, adaptou-se as recomendações de Theodoro (2012), onde adotou-se um tempo de 3 minutos de mistura rápida com rotação de 150 rpm aproximadamente para que o processo de coagulação se realizasse, logo após, reduziu-se a velocidade de rotação para 15 rpm durante 10 minutos para realização do processo de floculação, e por fim o equipamento foi desligado de modo a se dar início ao processo de sedimentação. Após 3 minutos iniciou-se a coleta de amostras, sendo estas retiradas em um espaço de tempo de 10 minutos em 10 minutos de maneira a se obter as amostras nos tempos de sedimentação 3, 13, 23, e 33 minutos.

4.5.2 Filtração

Para o processo de filtração desenvolveu-se quatro filtros (Figura 5) diferenciados pelos tipos de materiais que compõem o leito filtrante e pelas disposições das camadas destes materiais. Com exceção do filtro de borra de café que foi construído em escala 1:2, os filtros foram construídos em garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) de dimensões idênticas, sendo aproximadamente 10 centímetros de diâmetro interno e volume de 2 litros, dispostos em uma estrutura metálica posicionada abaixo do equipamento Jar-Test permitindo o fluxo das amostras do Jar-Test aos filtros, simulando uma filtração direta de fluxo descendente.

Figura 5 – a) Filtro de Areia (F1). b) Filtro de Fibra de Coco (F2). c) Filtro de Não-tecido Geotêxtil Agulhado (F3). d) Filtro de Borra de Café (F4).



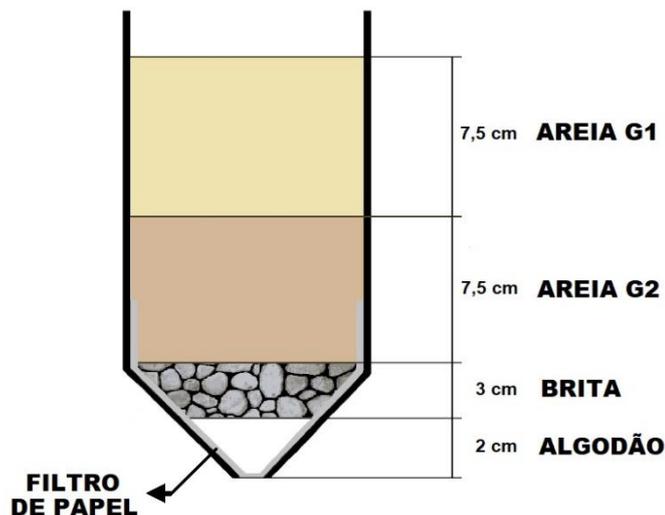
Fonte: Autoria própria.

O fluxo foi liberado para os filtros após a coleta final de amostras no equipamento Jar-Test, no tempo 33 minutos. O tempo de filtração tomou 6 minutos após o início da passagem da água filtrada na saída dos filtros, este tempo se deu devido ao controle de angulação do fluxo de amostras aos filtros, onde procedeu-se de maneira que se tenha 70° do tempo 0 a 2 minutos, 60° do tempo 2 a 4 minutos, e 50° do tempo 4 a 6 minutos (ANDRADE, 2015).

Para a construção do Filtro de Areia (F1), adaptou-se as recomendações de Di Bernardo et al. (2003), onde o meio filtrante foi dividido em duas faixas de granulometria diferentes, sendo a primeira, disposta próximo a superfície, de 0 a 0,425mm (G1), e a segunda, próximo a base, de 0,425 a 0,850mm (G2), cada qual ocupando 7,5 cm. Ioshimura (2016) apresenta em seu estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento de água uma comparação entre três diferentes granulometrias de areia na utilização em meios filtrantes, sendo estas utilizadas como base para a escolha das granulometrias aqui definidas.

Após a camada de areia nas específicas granulometrias, foram preenchidos 3 cm por brita e 2 cm por algodão, contendo também um filtro de café em contato com o algodão, na extremidade inferior. Durante a montagem do filtro de areia, adicionou-se água destilada ao mesmo passo que se adicionou a areia, de modo a padronizar a compactação e evitar a formação de bolsas de ar e vazios. A Figura 6 ilustra as camadas que compõem o F1.

Figura 6 – Representação das camadas do filtro de areia (F1).



Fonte: Autoria própria.

Para preparar a areia utilizada para a confecção destes filtros, lavou-se a mesma de maneira a eliminar toda a matéria orgânica e toda a argila, e então, secou-se em estufa por 24 horas a 110°C. Com a areia seca separou-se as granulometrias desejadas, de 0 a 0,425mm (G1), e de 0,425 a 0,850mm (G2), por meio de um agitador eletromagnético (Figura 7).

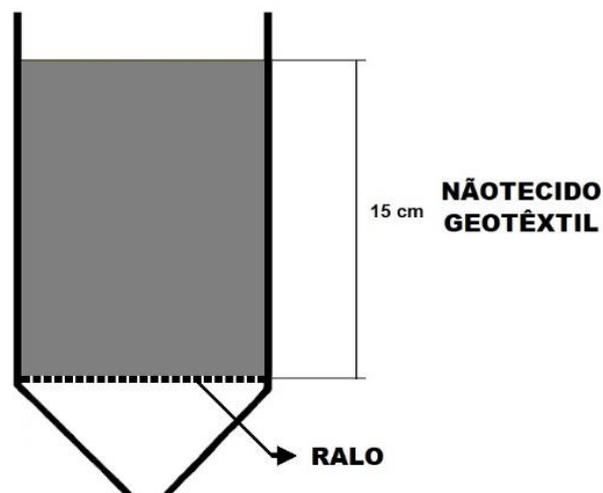
Figura 7 – Agitador eletromagnético.



Fonte: Autoria própria.

Ferraz e Paterniani (2002), apresentam em seu estudo o potencial que o não tecido geotêxtil agulhado possui de substituir a camada base sem influenciar a eficiência de remoção de impurezas do filtro. Observando este resultado, foi utilizado o não tecido geotêxtil agulhado substituindo todas as camadas de um filtro convencional, de modo a criar uma camada única na construção do filtro F3. A camada base, composta de brita, algodão, e pelo filtro de papel, foi substituída por um ralo, e as duas camadas de areia foram substituídas por uma camada única de não tecido geotêxtil agulhado, gramatura 500 g.m^{-2} como e demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Representação das camadas do filtro de não tecido geotêxtil (F3).

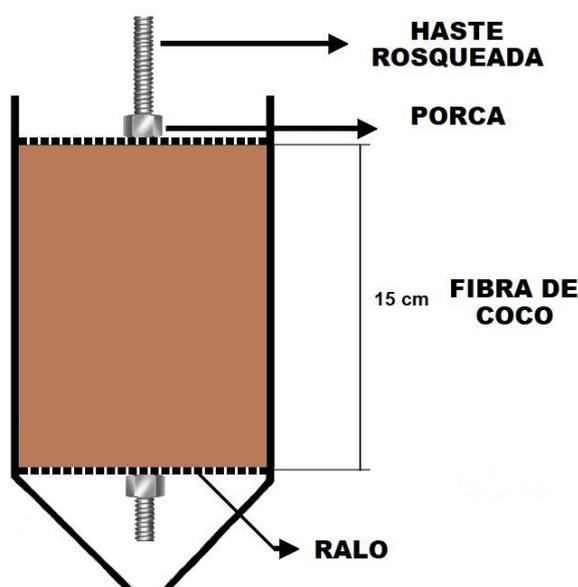


Fonte: Autoria própria.

Utilizou-se fibra de coco desfiada para a construção do F2, este material foi lavado em água de maneira a se eliminar qualquer impureza que não fossem as fibras, e após seco, separou-se 0,3kg do material para a construção do filtro.

Para a construção do filtro de fibra de coco (F2), representado pela Figura 9, adaptou-se as metodologias utilizadas para a construção do filtro de areia e do filtro de não tecido geotêxtil agulhado, construindo um perfil de meio filtrante de camada única de fibra de coco, acondicionada entre dois ralos ligados a uma haste rosqueada contendo porcas com o objetivo de comprimir o material até que este criasse uma camada de 15 centímetros.

Figura 9 – Representação das camadas do filtro de fibra de coco (F2).



Fonte: Autoria própria.

A borra de café utilizada para a composição do meio filtrante do filtro de borra de café (F4) foi adquirida por meio de doação de uma indústria de café solúvel, que gera altas quantidades de borra de café como resíduo.

Entre a composição química deste resíduo encontramos uma fração lipídica composta por uma grande quantidade de ácidos graxos saturados e insaturados. Os óleos essenciais e algumas outras substâncias podem ser extraídos da borra de café por meio da utilização de solventes (SANTOS, 2010). Ahangari e Sargozaei (2012) apresentam métodos de extração de lipídeos da borra de café utilizando hexano e éter de petróleo como solventes. Assim, com o objetivo de tornar a borra de café um material mais próximo de um estado inerte, que possa ser utilizado como meio filtrante

de água para abastecimento, utilizou-se o Hexano como solvente no processo de extração de lipídeos (Figura 10).

Figura 10 – Aplicação do Hexano na borra de café como solvente de lipídeos.

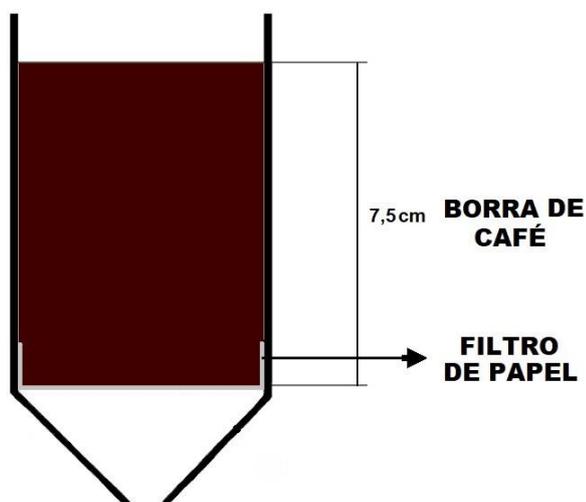


Fonte: Autoria própria.

O processo de preparação da borra de café se deu começando pela sua secagem em estufa a 110°C durante 24 horas, onde constatou-se redução de massa de 57,6%. Após a secagem da borra, como pode se observar na Figura 10, construiu-se um sistema contendo um erlenmeyer, um funil sobre este, e um filtro de café comum que possui o objetivo de separar a borra de café do solvente Hexano. A borra foi disposta sobre o filtro dentro do funil e foi adicionado 2 partes de Hexano para uma parte de borra de café. O Hexano passou pelo filtro de papel onde se separou da borra de café, ao final deste processo deixou-se a borra de café em ambiente aberto para que qualquer Hexano remanescente evaporasse.

Como resultado final obteve-se a borra de café a ser utilizada como meio filtrante na construção do F4. Este foi construído em escala um para dois em relação aos demais devido a quantidade de borra de café que se obteve ao final dos processos de secagem e remoção de lipídeos. Construiu-se então uma camada única de 7,5 cm de altura de borra de café e 5 cm de diâmetro, contendo um filtro de papel comum na base desta camada para impedir que o meio filtrante escorresse pela saída do filtro, a Figura 11 apresenta uma representação das camadas do F4.

Figura 11 – Representação das camadas presentes no filtro de borra de café (F4).



Fonte: A autoria própria.

4.6 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

Em todos os tratamentos gerados pelas combinações entre diferentes tipos de coagulantes, e diferentes tipos de filtros, as análises das amostras nos tempos estabelecidos observaram os parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente, e sólidos totais. As metodologias utilizadas para a determinação de cada parâmetros serão realizadas conforme os procedimentos descritos pelo Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) e citadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre parâmetros, metodologia e equipamento utilizados na análise das amostras.

Parâmetro	Equipamento	Metodologia
pH	Medidor de pH Tecnozon pHmetro mPA – 210	4500 - B
Temperatura	Medidor de pH Tecnozon pHmetro mPA – 210	2550 - B
Condutividade elétrica	Condutímetro Digital Portatil Instruthem CD 860	2510 - B
Turbidez	Turbidímetro Policontrol AP 2000	2130 - B
Cor aparente	Espectrofotômetro HACH DR 5000	2120 - C
Sólidos totais	Estufa	2540 - B

Fonte: A autoria própria.

A quantificação dos indicadores microbiológicos para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* foi realizada através do método Colilert, o qual determina não só a presença ou ausência destes organismos, bem como, também sua quantidade.

Estas análises microbiológicas foram realizadas apenas ao final da filtração de modo que as amostras foram coletadas após esterilização da saída dos filtros. Coletou-se em vidraria esterilizada aplicando o meio de cultura no momento da coleta, essa vidraria com amostra foi reservada em temperaturas baixas até o transporte ao local de realização dos procedimentos. As amostras com meio de cultura foram colocadas nas placas e cada placa foi passada por uma seladora Quanti-Tray Sealer Model 2X (Figura 12).

Figura 12 – Seladora Quanti-Tray Sealer Model 2X.



Fonte: A autoria própria.

Após seladas e identificadas, as placas foram reservadas em estufa com temperatura de 35°C por 24 horas, e então pode-se realizar as leituras. Para coliformes totais, a contagem dos quadrados grandes (49) e dos quadrados menores (48) contidas nas pacas foi realizada a olho nu, considerando valores positivos aqueles que desenvolveram coloração amarelo forte, para a contagem de *Escherichia coli*, realizou-se as leituras das mesmas placas em câmara escura equipada com luz UV (Figura 13), novamente observando a contagem dos quadrados grandes (49) e dos quadrados menores (48), porém considerando valores positivos aqueles que apresentaram luminescência azul (Figura 13).

Figura 13 – Câmara escura luz UV, e placas que apresentaram luminescência azul.



Fonte: Autoria própria.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O ensaio foi conduzido com repetições em triplicata e a análise estatística dos parâmetros estabelecidos foi desenvolvida por meio de uma análise de variância ANOVA, fator único, com o auxílio do programa PAST versão 3.24.

Como a análise de variância ANOVA, fator único, apenas diz se há ou não diferenças significativas entre tratamentos pela determinação do Valor-P e do Teste F, após a aplicação desta, quando observado a ocorrência de diferenças significativas, aplicou-se o teste de Turkey de maneira a se identificar quando, quantos, e entre quais tratamentos ocorreram estas diferenças significativas, observando o nível de significância 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA BRUTA

Primeiramente procedeu-se com a caracterização da água bruta utilizada durante o desenvolvimento deste trabalho de modo a determinar os valores dos parâmetros estabelecidos no item 4.6. Como os ensaios laboratoriais foram realizados em dois dias diferentes, para cada dia fez-se uma caracterização da água bruta, os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização da água bruta.

Parâmetro	09/04/2019	11/04/2019
pH	6,67	7,06
Temperatura (°C)	24,5	24,6
Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)	0,18	0,18
Turbidez (NTU)	304	289
Cor aparente (mg PtCo.L ⁻¹)	646	710
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	506	550
Coliformes Totais (ptc/g)	>2419,6	1986,3
<i>Escherichia coli</i> (ptc/g)	>2419,6	1986,3

Fonte: Autoria própria.

Deste modo realizou-se no dia 09/04/2019 os ensaios referentes aos filtro de areia e filtro de fibra de coco, para ambos os coagulantes, Sulfato de alumínio e *Moringa oleifera*, e no dia 11/04/2019 os ensaios referentes aos filtro não-tecido geotêxtil agulhado e filtro de borra de café, para ambos os coagulantes.

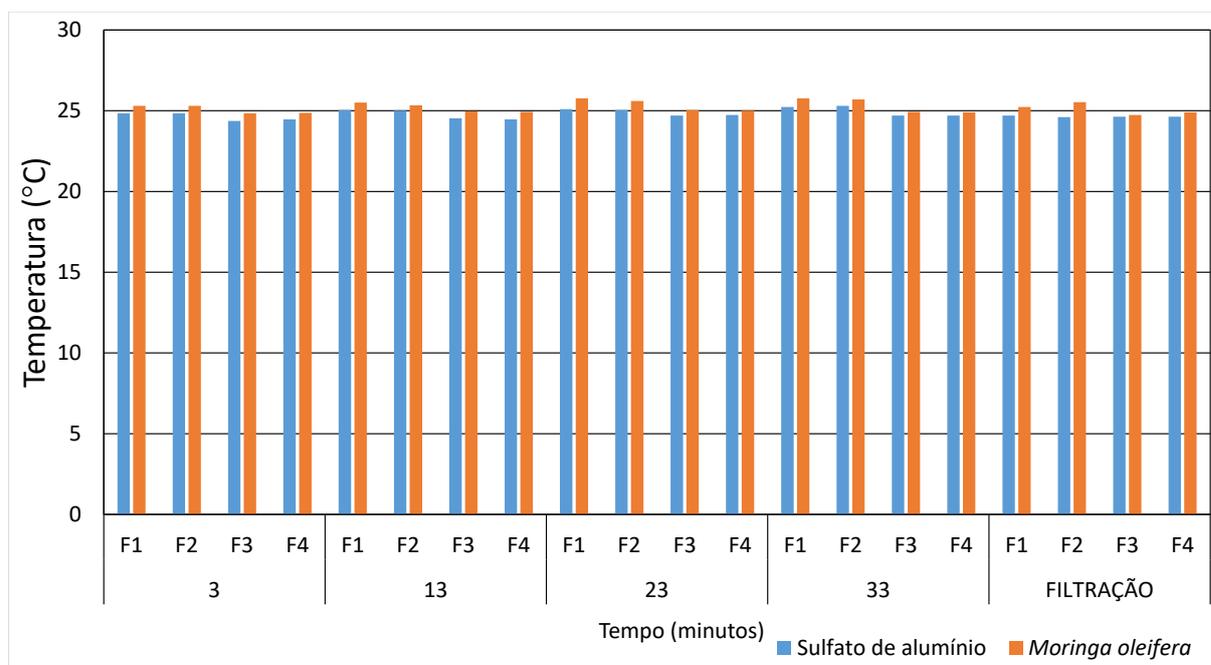
5.2 ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA

5.2.1 Temperatura

Construiu-se o gráfico representado pela Figura 14 a partir dos dados coletados durante os experimentos contendo as temperaturas durante a sedimentação nos tempos 3, 13, 23, e 33 minutos, e as temperaturas após a filtração.

As colunas em azul representam os tratamentos cujo coagulante empregado foi o Sulfato de alumínio, as colunas em laranja representam os tratamentos cujo coagulante empregado foi a *Moringa oleifera*.

Figura 14 – Gráfico parâmetro temperatura.



(F1) Filtro de Areia; (F2) Filtro de Fibra de Coco; (F3) Filtro de Nãotecido Geotêxtil Agulhado; (F4) Filtro de Borra de Café.

Fonte: Autoria própria.

Observando-se a Figura 14, fica evidente que não houve nenhuma alteração brusca nos valores de temperatura durante o decorrer do ensaio em todos os diferentes tratamentos pois todas as temperaturas mantiveram-se com valores próximos a 25°C não havendo grandes alterações nem mesmo após a passagem pelos filtros.

FUNASA (2014), ressalta a importância do parâmetro temperatura devido a este exercer grande influência nas atividades metabólicas dos organismos, na solubilidade de substâncias, e na velocidade das reações químicas, fatores que podem causar direções e alterações no comportamento de diversos outros parâmetros da água, sejam químicos, físicos, ou biológicos.

Aplicando-se a análise de variância ANOVA, fator único aos dados de temperatura coletados durante os ensaios laboratoriais, obteve-se como resultado a Tabela 4.

Tabela 4 – Análise de variância para o parâmetro temperatura.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor – P	F crítico
Entre grupos	2,4162	7	0,3451	41,4214	4,41E-09	2,6571
Dentro dos grupos	0,1333	16	0,0083			
Total	2,5495	23				

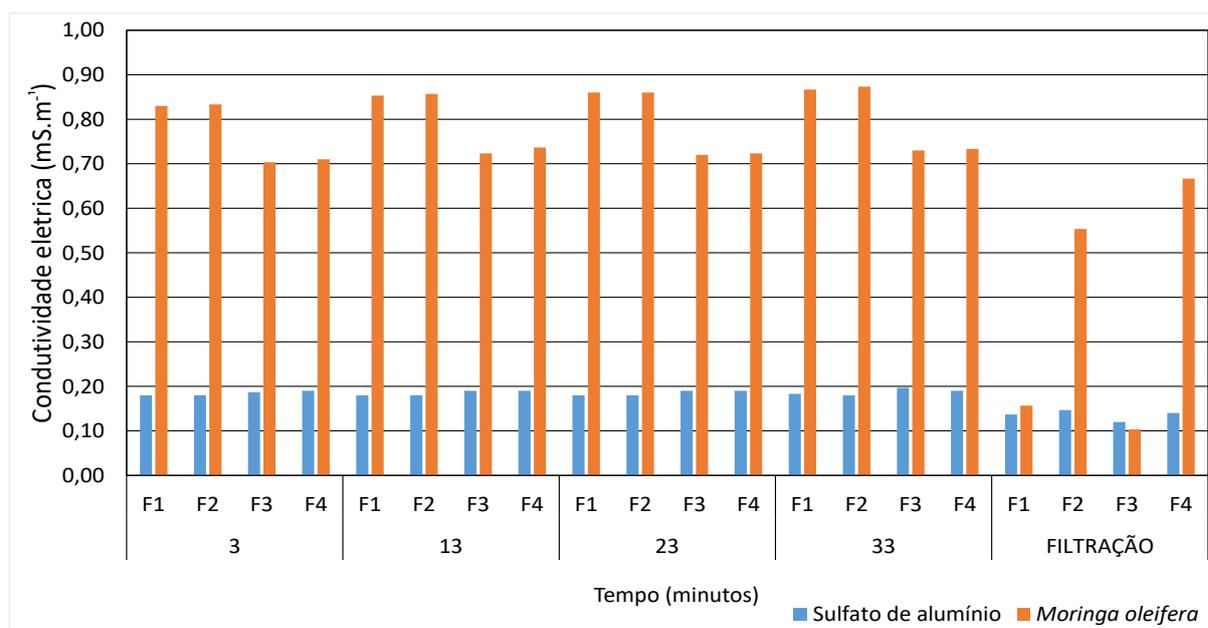
Fonte: Autoria própria.

Observando o Valor-P menor que 0,05 e o valor de F maior que o valor de F crítico, conclui-se que há existência de significância na diferença entre os dados, porém a proximidade dos valores e o fato do parâmetro temperatura não possuir limites exigidos por legislação através da Portaria de Consolidação N°5, de 2017, implicam na não necessidade da aplicação do teste de Tukey para determinar entre quais tratamentos há tais diferenças significativas.

5.2.2 Condutividade elétrica

Tomando os valores de condutividade elétrica construiu-se o gráfico representado pela Figura 15.

Figura 15 – Gráfico parâmetro condutividade elétrica.



(F1) Filtro de Areia; (F2) Filtro de Fibra de Coco; (F3) Filtro de Não-tecido Geotêxtil Agulhado; (F4) Filtro de Borra de Café.

Fonte: Autoria própria.

Observando a Figura 15, o primeiro fato que chama a atenção são os comportamentos distintos dos valores de condutividade elétrica entre os tratamentos que utilizam o coagulante Sulfato de Alumínio e os tratamentos que utilizam o coagulante *Moringa oleifera*.

Considerando que o valor de condutividade elétrica da água bruta foi determinado como $0,18 \text{ mS.m}^{-1}$, pode-se afirmar que não houve alteração dos valores de condutividade elétrica nos tratamentos que receberam Sulfato de alumínio como coagulante, devido a esses se manterem próximos ao valor da água bruta durante os tempos de sedimentação. Somente após a filtração que pode-se encontrar alguma alteração, sendo ela uma redução dos valores de condutividade elétrica na ordem de, até $0,17 \text{ mS.m}^{-1}$, fato atribuído a capacidade dos filtros de reterem íons e sais que facilitam a condução de eletricidade.

Quando observa-se os tratamentos onde empregou-se a *Moringa oleifera* como coagulante, nota-se um aumento substancial dos valores de condutividade elétrica com relação ao valor determinado da água bruta, já no primeiro tempo de sedimentação, a explicação para tal fato se encontra no momento da produção da solução coagulante de *Moringa oleifera* constituída pela semente, água destilada e NaCl. O sal neste caso tem a função de auxiliar a ativação da proteína contida na semente de *Moringa oleifera* responsável pelo potencial de coagulação, este mesmo sal facilita a condução de eletricidade por meio de propriedades iônicas. Henrique et al. (2014) observaram tal fato em seus estudos e atribuiu este a liberação de espécies iônicas no tratamento.

Todos os tratamentos que receberam o coagulante *Moringa oleifera* apresentaram redução dos valores de condutividade elétrica após a passagem pelo filtro, como podemos observar na Tabela 5.

Tabela 5 – Condutividade elétrica antes e após a passagem pelos filtros em tratamentos que receberam *Moringa oleifera* como coagulante.

Filtro	Antes da filtração (mS.m^{-1})	Após a filtração (mS.m^{-1})
Filtro de Areia	0,87	0,16
Filtro de Fibra de Coco	0,87	0,55
Filtro de Nãotecido Geotêxtil	0,73	0,10
Filtro de Borra de Café	0,73	0,67

Fonte: Autoria própria.

Observando os valores da tabela, fica evidente o destaque para o filtro de areia e o filtro de não tecido geotêxtil agulhado, onde reduziu-se os valores de condutividade elétrica para valores inferiores ao valor identificado água bruta.

Na análise de variância ANOVA, fator único, representada na Tabela 6, se faz presente os indícios de diferença significativa entre os valores dos tratamentos.

Tabela 6 – Análise de variância para o parâmetro condutividade elétrica.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor – P	F critico
Entre grupos	1,0449	7	0,1492	918,59	1,3E-19	2,6572
Dentro dos grupos	0,0026	16	0,0001			
Total	1,0475	23				

Fonte: Autoria própria.

Ambos, Valor-P menor que 0,05 e valor de F maior que valor de F crítico, indicam a presença de diferença significativa entre os conjuntos de dados de cada tratamento. Assim não se fez necessário a aplicação do teste de Tukey devido ao parâmetro condutividade elétrica não ser observado pela legislação através da Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde, e devido as diferenças significativas serem esperadas.

5.2.3 Cor Aparente

A Tabela 7 e o gráfico presente na Figura 16 ilustram o comportamento dos dados, que registra o parâmetro cor aparente durante o processo completo coagulação/floculação/sedimentação/filtração para cada um dos diferentes tratamentos, calculou-se também sua eficiência de remoção por meio da Equação 1.

$$E = \frac{B-M}{B} * 100 \quad (1)$$

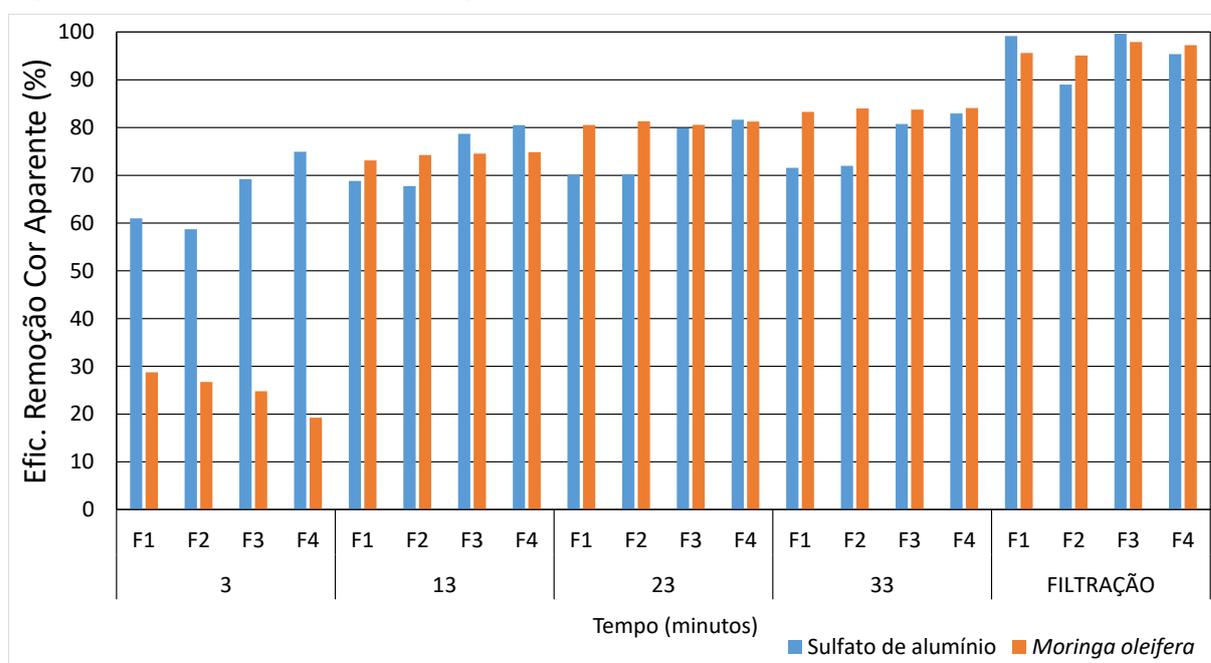
Sendo B o valor de cor aparente da água bruta, M o valor da média das leituras realizadas em triplicata e E a eficiência de remoção calculada.

Tabela 7 – Eficiência de remoção de cor aparente antes e após a passagem pelos filtros.

Coagulante/Filtro	Antes da filtração (%)	Após a filtração (%)
Sulfato de alumínio/Filtro 1	71,57	99,17
Sulfato de alumínio/Filtro 2	71,98	89,01
Sulfato de alumínio/Filtro 3	80,75	99,67
Sulfato de alumínio/Filtro 4	82,96	95,40
<i>Moringa oleifera</i> /Filtro 1	83,28	95,61
<i>Moringa oleifera</i> /Filtro 2	84,00	95,10
<i>Moringa oleifera</i> /Filtro 3	83,76	97,93
<i>Moringa oleifera</i> /Filtro 4	84,08	97,28

Fonte: Autoria própria.

Figura 16 – Gráfico eficiência de remoção de cor aparente.



(F1) Filtro de Areia; (F2) Filtro de Fibra de Coco; (F3) Filtro de Nãotecido Geotêxtil Agulhado; (F4) Filtro de Borra de Café.

Fonte: Autoria própria.

Identifica-se por meio da observação da Figura 16 uma diferença durante o início da sedimentação no comportamento dos tratamentos que receberam o coagulante Sulfato de alumínio com relação aos tratamentos que receberam o coagulante *Moringa oleifera*. Os valores de eficiência de remoção de cor aparente no tempo 3 minutos para os tratamentos que receberam o coagulante *Moringa oleifera* estão próximos a 30%, enquanto os valores iniciais apresentados pelos tratamentos

que receberam como coagulante o Sulfato de alumínio estão próximos de 60%, constatando-se assim que o coagulante *Moringa oleifera* levou um maior tempo para realizar a remoção deste parâmetro. Siqueira et al. (2018) registrou tal comportamento onde cita ainda que a performance do coagulante *Moringa oleifera* sofre efeitos por este maior tempo de sedimentação quando comparado a outros coagulantes, sendo eles uma maior variação dos parâmetros cor e turbidez.

Esta diferença de velocidade de formação e sedimentação dos flóculos entre os coagulantes Sulfato de alumínio e *Moringa oleifera* nos tempos iniciais acaba sendo equilibrada ao final dos 40 minutos de sedimentação onde observamos os tratamentos atingindo eficiência de remoção na faixa de 80-85%.

No processo de filtração observa-se o salto na porcentagem de eficiência de remoção de cor aparente para todos os tratamentos. Após a filtração, com exceção do tratamento Sulfato de alumínio/F2, todos alcançaram eficiência de remoção de cor aparente acima dos 95%, com destaque para os tratamentos Sulfato de alumínio/F1 e Sulfato de alumínio/F3 que atingiram 99,17 e 99,67% respectivamente.

Fica evidente também os melhores resultados para os tratamentos com o coagulante Sulfato de alumínio no instante antes a passagem pelos filtros, resultado este muito importante uma vez que reduzindo a quantidade de material que possa ser retido nos filtros, reduz-se também a manutenção dos mesmos.

A Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde define $15 \text{ mg PtCo.L}^{-1}$ como valor máximo permitido para o parâmetro cor aparente, assim sendo apenas três tratamentos se enquadram neste limite, Sulfato de alumínio/F1, Sulfato de alumínio/F3, e *Moringa oleifera*/F3 que atingiram 5,33; 2,33; e $14,67 \text{ mg PtCo.L}^{-1}$ respectivamente.

Aplicando a análise de variância ANOVA, fator único aos dados de cor aparente, obteve-se como resultado a Tabela 8.

Tabela 8 – Análise de variância para o parâmetro cor aparente.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor – P	F crítico
Entre grupos	1,0449	7	0,1492	918,59	1,3E-19	2,6572
Dentro dos grupos	0,0026	16	0,0001			
Total	1,0475	23				

Fonte: Autoria própria.

O valor de F encontrado é maior que o valor de F crítico, sendo esta uma primeira indicação da presença de diferença significativa entre os conjuntos de dados, o Valor-P menor que 0,05 corrobora esta indicação e conclui a presença de diferença significativa entre os conjuntos de dados, assim aplicou-se o teste de Tukey (Tabela 9) para identificação dos tratamentos que apresentaram diferença significativa entre si.

Tabela 9 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro cor aparente.

Tratamentos	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	2,02E-09	0,99	2,69E-04	1,68E-03	4,07E-04	0,44	0,08
B	21,06	-	1,01E-06	4,19E-06	9,92E-04	2,98E-03	1,95E-05	6,76E-08
C	0,96	22,02	-	8,02E-02	4,68E-04	1,19E-04	0,16	0,023
D	8766	12,29	9728	-	0,97	1	0,01	0,11
E	7376	13,68	8339	1,39	-	0,9933	0,09	0,48
F	8445	12,61	9408	0,3207	1,06	-	0,02	0,16
G	2993	18,07	3955	5,773	4383	5452	-	0,95
H	4,49	16,57	5452	4,276	2886	3955	1497	-

(A)Sulfato de alumínio/F1; (B)Sulfato de alumínio/F2; (C)Sulfato de alumínio/F3; (D)Sulfato de alumínio/F4; (E)*Moringa oleifera*/F1; (F)*Moringa oleifera*/F2; (G)*Moringa oleifera*/F3; (H)*Moringa oleifera*/F4.

Fonte: Autoria própria.

Observando os valores acima da diagonal principal na Tabela 9 identifica-se a presença de diferenças significativas entre vários tratamentos representadas por valores menores que 0,05. Observando a ocorrência ou não de diferenças significativas, os tratamentos Sulfato de alumínio/F1 e Sulfato de alumínio/F3 podem ser considerados os tratamentos que apresentaram o melhor resultados uma vez que apresentam as melhores porcentagens de remoção de eficiência de remoção de cor aparente, e não há diferença significativa entre estes.

5.2.4 Turbidez

Por meio da aplicação da Equação 1 criou-se a Tabela 10 e o gráfico presente na Figura 17 ilustrando o comportamento da eficiência de remoção de turbidez durante

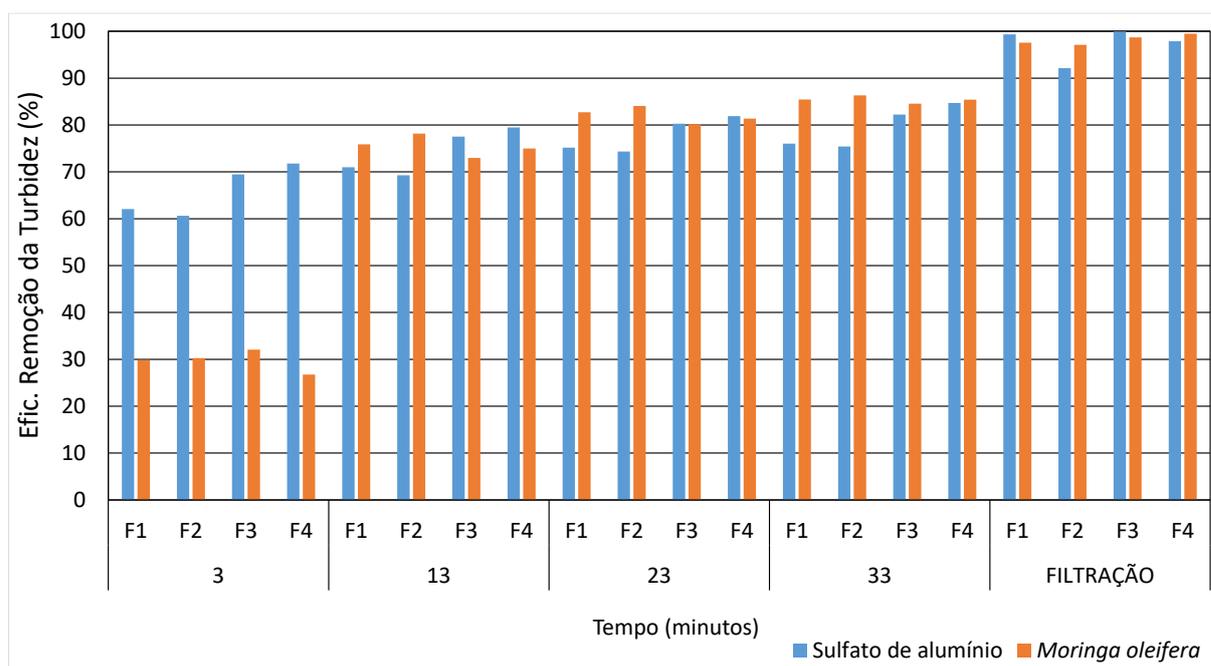
os processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração para cada tratamento cujo dados foram coletados durante os procedimentos laboratoriais.

Tabela 10 – Eficiência de remoção de turbidez antes e após a passagem pelos filtros.

Coagulante/Filtro	Antes da filtração (%)	Após a filtração (%)
Sulfato de alumínio/F1	76,03	99,33
Sulfato de alumínio/F2	75,42	92,12
Sulfato de alumínio/F3	82,21	99,96
Sulfato de alumínio/F4	84,71	97,87
<i>Moringa oleifera</i> /F1	85,44	97,56
<i>Moringa oleifera</i> /F2	86,30	97,09
<i>Moringa oleifera</i> /F3	84,53	98,69
<i>Moringa oleifera</i> /F4	85,41	99,48

Fonte: Autoria própria.

Figura 17 – Gráfico eficiência de remoção de turbidez.



(F1) Filtro de Areia; (F2) Filtro de Fibra de Coco; (F3) Filtro de Não-tecido Geotêxtil Agulhado; (F4) Filtro de Borra de Café.

Fonte: Autoria própria.

Observando a Figura 17 fica evidente o comportamento similar visto na eficiência de remoção de turbidez onde, no primeiro tempo de sedimentação, os tratamentos que receberam o coagulante Sulfato de alumínio apresentaram, de

imediatamente, uma eficiência maior quando comparado aos tratamentos que receberam como coagulante a *Moringa oleifera*. Após o primeiro tempo de sedimentação, a porcentagem de eficiência de remoção de turbidez, que atingiu valores médios de 30% quando houve o emprego do coagulante *Moringa oleifera* e valores médios entre 60 a 70% quando houve o emprego do coagulante Sulfato de alumínio, tende a se equilibrar entre todos os tratamentos. Assim como no parâmetro de cor aparente os tratamentos que receberam como coagulante a *Moringa oleifera* necessitaram de um maior intervalo de tempo de ação.

Tomando-se o comportamento apenas nos tempos de sedimentação, antes a passagem pelos filtros, observa-se que ao final deste processo as eficiências de remoção de turbidez apresentam valores acima de 80%, com exceção para os tratamentos Sulfato de alumínio/F1 e Sulfato de alumínio/F2, cuja eficiência de remoção de turbidez é de 76,03 e 75,42%.

Arantes et al. (2014) corrobora os resultados de eficiência de remoção de turbidez, quando utilizando o coagulante *Moringa oleifera*, apresenta valores em torno de 76% de eficiência de remoção de turbidez ao final do processo de sedimentação.

Todos os filtros apresentaram sucesso em seu emprego, isso é demonstrado pelo salto de eficiência de remoção de turbidez entre os valores antes e após a passagem pelos filtros (Tabela 10). Com exceção do tratamento Sulfato de alumínio/F2, todos os demais tratamentos apresentam valores de eficiência de remoção entre 97 e 100%. Beltrán-heredia e Sánchez-mártin (2009) encontraram através de seu estudo sobre o uso do coagulante *Moringa oleifera* e filtração através de um filtro lento de areia resultados de remoção de turbidez de 100%, o que ratifica os valores encontrados para o tratamento *Moringa oleifera*/F1.

Observando apenas os resultados de eficiência dos filtros encontramos o filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3) como o filtro que apresenta o melhor resultado quando combinado ao coagulante Sulfato de alumínio, 99,96%, e o filtro de borra de café (F4) como o filtro que apresenta o melhor resultado quando combinado ao coagulante *Moringa oleifera*, 99,48%. Quando levamos em consideração o conjunto de resultados (combinado ao coagulante Sulfato de alumínio, e combinado ao coagulante *Moringa oleifera*) o filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3) apresenta o melhor desempenho sendo 99,96 e 98,69%.

Tomando-se a legislação vigente que estabelece os padrões de potabilidade da água, a Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde,

observamos que 50% dos tratamentos estão de acordo com o limite de 5 NTU exigido pela Portaria, sendo eles Sulfato de alumínio/F1, 2,03 NTU, Sulfato de alumínio/F3, 0,12 NTU, *Moringa oleifera*/F3, 3,79 NTU, e *Moringa oleifera*/F4, 1,50 NTU. Apenas o filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3) apresentou valores dentro do limite estabelecido por legislação em ambos os casos.

Tomando os dados de turbidez coletados durante o ensaio, aplicou-se a análise de variância ANOVA, fator único criando assim a Tabela 11.

Tabela 11 – Análise de variância para o parâmetro turbidez.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor – P	F crítico
Entre grupos	1212,3	7	173,186	94,7024	8E-12	2,6572
Dentro dos grupos	29,2598	16	1,82874			
Total	1241,56	23				

Fonte: Autoria própria.

Assim observa-se que o valor de F encontrado é maior que o valor de F crítico e o Valor-P é menor que 0,05, indicando a ocorrência de diferenças significativas entre os conjuntos de dados. Uma vez detectada esta ocorrência de diferenças significativas, aplicou-se o teste de Tukey de modo a encontrar quantas e entre quais tratamentos estas diferenças significativas ocorrem (Tabela 12).

Tabela 12 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro turbidez.

Tratamentos	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	2,63E-08	0,66	0,03	3,17E-03	2,89E-04	0,74	0,99
B	28,09	-	8,51E-09	5,80E-07	1,85E-06	6,99E-06	8,45E-08	1,90E-08
C	2451	30,54	-	1,05E-03	1,26E-04	1,47E-02	0,06	0,90
D	5273	22,82	7723	-	0,9325	0,29	0,43	0,01
E	6912	21,18	9363	1639	-	0,89	0,06	1,25E-03
F	8,71	19,38	11,16	3437	1797	-	5,91E-03	1,22E-04
G	2,25	25,84	4701	3023	4662	6,46	-	0,46
H	0,68	28,78	1768	5956	7595	9393	2933	-

(A)Sulfato de alumínio/F1; (B)Sulfato de alumínio/F2; (C)Sulfato de alumínio/F3; (D)Sulfato de alumínio/F4; (E)*Moringa oleifera*/F1; (F)*Moringa oleifera*/F2; (G)*Moringa oleifera*/F3; (H)*Moringa oleifera*/F4.

Fonte: Autoria própria.

Com o auxílio da Tabela 12 pode-se encontrar tais diferenças significativas observando os valores acima da diagonal principal que são menores que 0,05. Tomando os tratamentos com melhores resultados por filtro, Sulfato de alumínio/F1, *Moringa oleifera*/F2, Sulfato de alumínio/F3, e *Moringa oleifera*/F4, observa-se a ocorrência de diferença significativa apenas quando comparado o tratamento *Moringa oleifera*/F2 aos demais tratamentos. Observando-se a comparação entre os conjuntos de resultados de cada tipo de filtro encontra-se os tratamentos onde houve o emprego do filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3) como os que apresentam os melhores resultados, assim, observando o tratamento *Moringa oleifera*/F3, na comparação com os tratamentos onde houve os melhores resultados por filtro, há ocorrência de diferença significativa apenas quando comparado ao tratamento *Moringa oleifera*/F2. Pode-se dizer então que estatisticamente, os tratamentos Sulfato de alumínio/F1, Sulfato de alumínio/F3, *Moringa oleifera*/F3, e *Moringa oleifera*/F4 atingiram o melhor resultado.

5.2.5 Sólidos totais

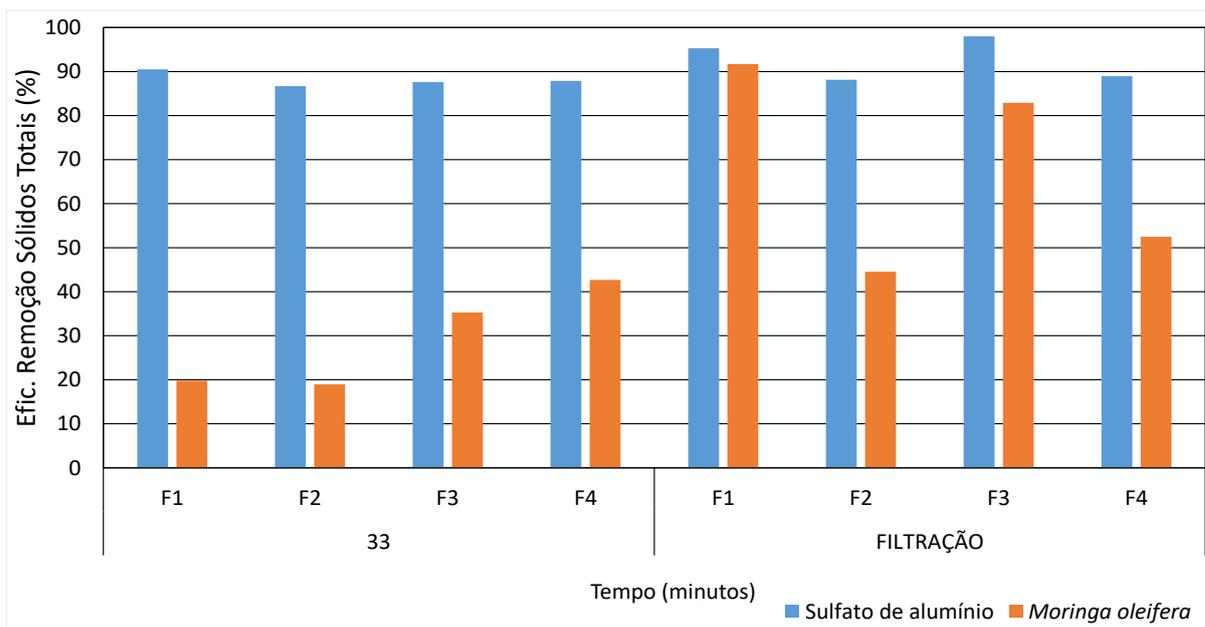
Realizou-se as análises de sólidos totais em dois momentos, no instante final do processo de sedimentação e após a passagem pelos filtros, assim, com o auxílio da Equação 1, construiu-se a Tabela 13 e o gráfico presente na Figura 18 onde é apresentado os dados de eficiência de remoção de sólidos totais.

Tabela 13 – Eficiência de remoção de sólidos totais antes e após a passagem pelos filtros.

Coagulante/Filtro	Antes da filtração (%)	Após a filtração (%)
Sulfato de alumínio/F1	90,51	95,27
Sulfato de alumínio/F2	86,69	88,14
Sulfato de alumínio/F3	87,64	98,00
Sulfato de alumínio/F4	87,88	88,97
<i>Moringa oleifera</i> /F1	19,76	91,70
<i>Moringa oleifera</i> /F2	18,97	44,53
<i>Moringa oleifera</i> /F3	35,27	82,91
<i>Moringa oleifera</i> /F4	42,67	52,48

Fonte: Autoria própria.

Figura 18 – Gráfico eficiência de remoção de sólidos totais.



(F1) Filtro de Areia; (F2) Filtro de Fibra de Coco; (F3) Filtro de Não-tecido Geotêxtil Agulhado; (F4) Filtro de Borra de Café.

Fonte: Autoria própria.

Observando na Figura 18 os dados resultantes do processo de tratamento sem a passagem pelos filtros, fica evidente a diferença discrepante entre as eficiência de remoção de ambos os coagulantes. O grupo onde foi aplicado Sulfato de Alumínio apresenta valores de porcentagens de eficiência de remoção de sólidos totais todos acima de 85%, já o grupo de dados referente aos tratamentos que receberam como coagulante a *Moringa oleifera* apresenta resultados com maior variação entre si sendo possível observar valores de eficiência de remoção de sólidos totais entre 18 e 42%.

Quanto ao comportamento dos filtros observa-se pela Tabela 13 que, independente do coagulante utilizado, apenas os filtro de areia (F1) e o filtro de não-tecido geotêxtil agulhado (F3) apresentaram uma consistente melhora na eficiência de remoção de sólidos totais. O filtro de areia atingiu eficiências de remoção de sólidos totais acima de 90% para ambos os casos, com destaque para sua associação ao coagulante Sulfato de alumínio onde a eficiência atingida foi de 95,27%. O filtro de não-tecido geotêxtil agulhado (F3) também apresenta melhor eficiência quando associado ao coagulante Sulfato de alumínio, onde atingiu 98,00%.

Tomando a legislação vigente, Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade da água, apenas os sólidos dissolvidos totais possuem valor máximo permitido, sendo 1000

mg.L⁻¹. Porém, segundo Macêdo (2007), os sólidos totais podem ser divididos em dois grupos, sendo os sólidos suspensos totais e os sólidos dissolvidos totais, sabendo-se então que sólidos dissolvidos totais são uma fração dos sólidos totais, tem-se a possibilidade de afirmar que todos os tratamentos atingiram valores abaixo do valor máximo permitido em legislação.

Aplicando a análise de variância ANOVA, fator único aos dados de sólidos totais coletados durante os ensaios laboratoriais, construiu-se a Tabela 14.

Tabela 14 – Análise de variância para o parâmetro sólidos totais.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor – P	F crítico
Entre grupos	235362	7	33623	54,88	5E-10	2,6572
Dentro dos grupos	9802	16	612,63			
Total	245164	23				

Fonte: Autoria própria.

A análise de variância ANOVA fator único representada na Tabela 14 traz o valor de F encontrado maior que o valor de F crítico e Valor-P menor que 0,05 dois fatores que comprovam a existência de diferença significativa entre um ou mais conjuntos de dados, assim aplicou-se o teste de Tukey (Tabela 15) para identificação de quais e quantos tratamentos apresentam diferença significativa entre si.

Tabela 15 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro sólidos totais.

Tratamentos	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	0,69	0,99	0,67	0,99	2,37E-05	5,99E-02	7,38E-05
B	2379	-	0,29	1	0,98	1,84E-04	0,69	6,64E-07
C	1,05	3429	-	0,27	0,77	1,03E-05	0,01	3,04E-08
D	2426	0,04	3476	-	0,97	1,92E-04	0,71	6,95E-04
E	1,12	1,26	2169	1306	-	6,04E-05	0,23	2,01E-04
F	17,82	15,44	18,87	15,40	16,7	-	1,86E-03	0,97
G	4759	2379	5808	2333	3639	13,06	-	7,93E-06
H	16,47	14,09	17,52	14,04	15,35	1353	11,71	-

(A)Sulfato de alumínio/F1; (B)Sulfato de alumínio/F2; (C)Sulfato de alumínio/F3; (D)Sulfato de alumínio/F4; (E)*Moringa oleifera*/F1; (F)*Moringa oleifera*/F2; (G)*Moringa oleifera*/F3; (H)*Moringa oleifera*/F4.

Fonte: Autoria própria.

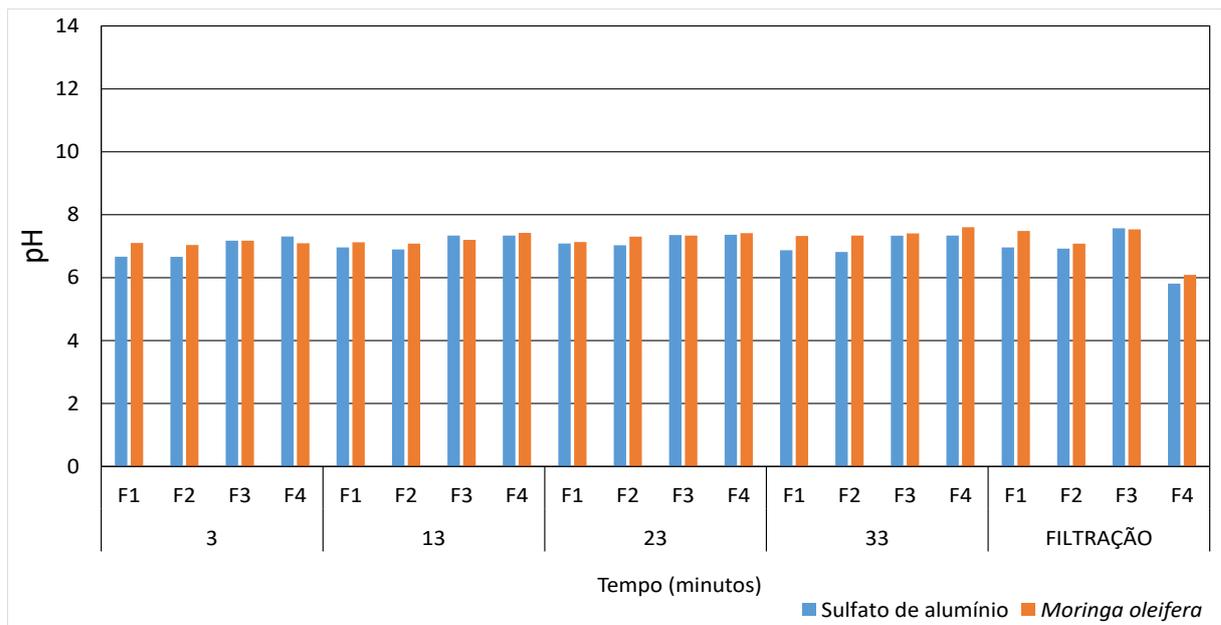
As diferenças significativas entre os tratamentos são representadas por valores menores que 0,05 acima da diagonal principal da Tabela 16. Comparando os resultados entre filtros idênticos encontrou-se todos os tratamentos contendo o coagulante Sulfato de alumínio apresentando valores superiores aos tratamentos com a *Moringa oleifera*. Dentre os tratamentos cujo coagulante empregado foi o Sulfato de alumínio, não houve diferença significativa entre nenhum, podendo então afirmar que estes tratamentos atingiram o melhor resultado. O tratamento *Moringa oleifera*/F1 também não apresentou diferença significativa quando comparado aos tratamentos cujo coagulante empregado foi o Sulfato de alumínio, indicando também este como um dos tratamentos que tenha atingido o melhor resultado de eficiência de remoção.

5.3 ANÁLISES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DA ÁGUA

5.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Tomando os valores de pH observados durante os tempos de sedimentação e após a filtração, construiu-se o gráfico apresentado na Figura 19 ilustrando o comportamento do parâmetro.

Figura 19 – Gráfico parâmetro pH.



(F1) Filtro de Areia; (F2) Filtro de Fibra de Coco; (F3) Filtro de Nãotecido Geotêxtil Agulhado; (F4) Filtro de Borra de Café.

Fonte: Autoria própria.

O Sulfato de alumínio utilizado para tratamento de água contém em sua fórmula o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o que o torna um produto de pH ácido, assim, seu emprego pode causar alterações no pH da água em tratamento (ROSALINO, 2011; SANTOS 2011). Porém observa-se na Figura 19 que durante os tempos de sedimentação nos tratamentos em que utilizou-se o Sulfato de alumínio identificamos apenas pequenas variações e um comportamento sem alterações bruscas com valores mínimo e máximo de 6,66 e 7,36.

Os tratamentos onde o coagulante empregado foi *Moringa oleifera* também não apresentaram alterações bruscas de pH, mínimo 7,04 e máximo 7,60. Paterniani, Mantovani, e Sant'Anna (2009) corroboram este resultado por meio de seu estudo do uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais onde durante todos os ensaios os valores de pH não apresentaram alterações significativas permanecendo em uma faixa de pH entre 6 e 7.

Após a passagem pelos filtros apenas dois tratamentos apresentaram grandes alterações de pH, sendo eles os tratamentos onde houve o emprego do filtro de borra de café (F4). Esse decréscimo dos valores de pH após a passagem pelo filtro indica que o próprio meio filtrante borra de café pode possuir características ácidas influenciando no resultado observado. A Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde define para o parâmetro pH valores entre 6,0 e 9,5, faixa esta onde estão enquadrados todos os valores de pH observados durante os ensaios com exceção do valor final do tratamento Sulfato de alumínio/F4, cujo pH atingiu 5,81.

Aplicando a análise de variância ANOVA fator único aos dados de pH durante os ensaios laboratoriais, obtemos como resultado a Tabela 16.

Tabela 16 – Análise de variância para o parâmetro pH.

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	Valor – P	F critico
Entre grupos	9,1896	7	1,3128	155,133	1,7E-13	2,6572
Dentro dos grupos	0,1254	16	0,0084			
Total	9,3250	23				

Fonte: Autoria própria.

Com a análise de variância ANOVA fator único apresentando Valor-P menor que 0,05 e o valor de F maior que o valor de F crítico, conclui-se a existência de significância na diferença entre conjuntos de dados, assim aplica-se o teste de Tukey Tabela 17, de maneira a se identificar quantos e entre quais conjuntos de dados existem estas diferenças significativas.

Tabela 17 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro pH.

Tratamentos	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	1,00	1,02E-02	1,32E-06	6,88E-02	0,75	2,24E-02	7,97E-05
B	0,69	-	4,76E-03	2,17E-06	3,01E-02	0,46	1,02E-02	1,47E-04
C	11,49	12,18	-	2,58E-09	0,93	1,50E-04	0,99	2,93E-08
D	21,65	20,96	33,14	-	5,50E-09	2,77E-07	3,57E-09	0,03
E	9853	10,54	1632	31,51	-	1,26E-03	1,00	6,79E-08
F	2259	2,95	9226	23,91	7594	-	3,62E-04	1,24E-05
G	10,79	11,49	0,69	32,45	0,94	8535	-	4,13E-08
H	16,38	15,69	27,87	5272	26,23	18,64	27,18	-

(A)Sulfato de alumínio/F1; (B)Sulfato de alumínio/F2; (C)Sulfato de alumínio/F3; (D)Sulfato de alumínio/F4; (E)*Moringa oleifera*/F1; (F)*Moringa oleifera*/F2; (G)*Moringa oleifera*/F3; (H)*Moringa oleifera*/F4.

Fonte: Autoria própria.

Observando os valores acima da diagonal principal na Tabela 18 identifica-se a presença de diferenças significativas, entre vários tratamentos, representadas por valores menores que 0,05.

Como esperado, os tratamentos onde houve o emprego do filtro de borra de café, *Moringa oleifera*/F4 e Sulfato de alumínio/F4, apresentaram diferenças significativas quando comparados a todos os outros conjuntos a exceção da comparação entre si, onde não houve diferença significativa. Estes tratamentos apresentaram valores próximos ao valor mínimo exigido pela legislação, sendo o tratamento Sulfato de alumínio/F4 o único tratamento que não atingiu valor dentro da faixa exigida por legislação.

Houve diferença significativa entre outros tratamentos porém estes apresentaram valores dentro da faixa exigida pela legislação, e não apresentaram grande variação de pH durante os processos de tratamentos como pode-se ver na Figura 19.

5.4 ANÁLISES DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS DA ÁGUA

5.4.1 Coliformes totais

Tomando os dados relativos a coliformes totais, construiu-se a Tabela 18 onde é apresentado a contagem de coliformes totais para cada tratamento ao final da filtração.

Tabela 18 – Contagem de coliformes totais.

Coagulante/Filtro	Repetições	Contagem
Sulfato de alumínio/F1	1	2419,6
	2	1553,1
	3	>2419,6
Sulfato de alumínio/F2	1	>2419,6
	2	>2419,6
	3	>2419,6
Sulfato de alumínio/F3	1	<1
	2	11,9
	3	140,1
Sulfato de alumínio/F4	1	547,5
	2	>2419,6
	3	-
<i>Moringa oleifera</i> /F1	1	>2419,6
	2	>2419,6
	3	>2419,6
<i>Moringa oleifera</i> /F2	1	>2419,6
	2	>2419,6
	3	>2419,6
<i>Moringa oleifera</i> /F3	1	55,6
	2	365,4
	3	104,6
<i>Moringa oleifera</i> /F4	1	>2419,6
	2	>2419,6
	3	-

Fonte: Autoria própria.

A grande maioria dos resultados encontrados na Tabela 18 atingiram o valor máximo da análise, >2419,6. Observa-se também que ambos os tratamentos cujo filtro empregado foi o filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3), apresentaram valores bem abaixo dos demais, com destaque positivo para o tratamento Sulfato de alumínio/F3.

A legislação vigente através da Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde, que determina em seu Capítulo V os padrões de potabilidade da água, atribui aos coliformes fecais o título de indicador de eficiência de tratamento de modo a requerer sua ausência em 100 mL nas amostras coletadas na saída do tratamento. Também afere aos coliformes totais como um indicador de integridade do sistema de distribuição quando requer que para sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20 mil habitantes tolera-se a presença em apenas uma amostra entre as amostras examinadas no mês, e em sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20 mil habitantes a ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

O resultado da análise de coliformes totais para a água bruta foi >2419,6, assim como o resultado final na maioria dos tratamentos, o que não se enquadra nos valores estabelecidos pela Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde. Os resultados também não atingiram valores como os encontrados por Silveira (2017) onde houve eficiência do processo de filtração na remoção de coliformes da água chegando a quase 100%. Brito et al. (2005) demonstrou média de remoção em filtros lentos descendente acima dos 90%.

5.4.2 *Escherichia coli*

Tomando os dados relativos a *Escherichia coli*, construiu-se a Tabela 19 onde é apresentado a contagem de *Escherichia coli* para cada tratamento ao final da filtração.

Tabela 19 – Contagem de *Escherichia coli*.

Coagulante/Filtro	Repetições	Contagem
	1	18,1
Sulfato de alumínio/F1	2	4,1
	3	1,0

	1	260,3
Sulfato de alumínio/F2	2	1732,9
	3	344,8
	1	<1
Sulfato de alumínio/F3	2	<1
	3	2,0
	1	7,5
Sulfato de alumínio/F4	2	12,2
	3	-
	1	65,0
<i>Moringa oleifera</i> /F1	2	75,4
	3	65,7
	1	816,4
<i>Moringa oleifera</i> /F2	2	325,5
	3	816,4
	1	1,0
<i>Moringa oleifera</i> /F3	2	1,0
	3	<1
	1	<1
<i>Moringa oleifera</i> /F4	2	<1
	3	-

Fonte: Autoria própria.

A legislação vigente através da Portaria de Consolidação N°5, de 2017, emitida pelo Ministério da Saúde, que determina em seu Capítulo V os padrões de potabilidade, estabelece a ausência em amostras de 100 mL de *Escherichia coli* em águas para consumo humano como valor máximo permitido.

Observando a Tabela 19 nota-se que os tratamentos onde empregou-se o filtro de fibra de coco (F2) apresentaram as maiores concentrações remanescentes de *Escherichia coli*, a eficiência de remoção proporcionada por este filtro claramente não atende os padrões exigidos pela legislação. Os tratamentos onde se empregou o uso do filtro de areia (F1) e do filtro de bora de café (F4) apresentam bons resultados, porém, os resultados onde houve emprego do filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3) foram claramente os melhores, havendo valores mínimos de contagem <1.

Bianchin et al. (2012) apresentou eficiência de remoção de coliformes fecais de 99,8% após passagem por filtros de areia de tipo convencional utilizados em estações de tratamento de água (ETA), o que isentou a presença destes microrganismos na água tratada. Brito et al. (2015) afirmou que para a remoção de *Escherichia coli* em filtro lento descendente de areia as porcentagem de eficiência de remoção foram de 97%. O filtro de areia (F1) apresentou altas taxas de eficiência de remoção de *Escherichia coli*, porém não isentou as amostras finais da presença destes microrganismos.

Santos (2015) observou eficiências médias de remoção de *Escherichia coli* atingindo valores de 90% após a passagem por filtro cujo meio filtrante foi constituído de não tecido geotêxtil agulhado gramatura 500 g.m⁻² fato este que corrobora os dados encontrados após a passagem pelo F3, constituído por meio filtrante de material semelhante.

Os tratamentos onde houve o emprego do F4 também apresentaram bons resultados de remoção de *Escherichia coli*, podendo atribuir estes resultados a boa eficiência de remoção de turbidez que estes tratamentos demonstraram. Fernandes et al. (2010) correlaciona pH baixo a melhoria de eficiência de remoção de microrganismos em água, no caso oocistos de *Cryptosporidium*. Visto que o emprego do F4 nos tratamentos resultou em redução de pH, e que estes tratamentos apresentaram boa eficiência na remoção de *Escherichia coli*, cria-se a necessidade de estudo investigativo para analisar se a redução do pH proporcionada pelo uso do F4 esta correlacionada a boa eficiência de remoção de *Escherichia coli* nestes tratamentos.

6 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados no trabalho demonstram a superioridade do coagulante Sulfato de alumínio no tratamento, também demonstram que há potencial de aplicação da solução coagulante de *Moringa oleifera* por esta possuir eficiência de remoção de cor aparente e de turbidez próximas as eficiências encontradas quando há a aplicação do coagulante Sulfato de alumínio.

O filtro que apresentou melhor desempenho foi o filtro de não tecido geotêxtil agulhado (F3), sendo que em todos os tratamentos onde há o emprego deste os parâmetros permaneceram dentro dos limites estabelecidos em legislação, com exceção dos parâmetros microbiológicos, onde novamente os tratamentos onde houve o emprego do filtro F3 atingiram os melhores resultados de remoção. O tratamento Sulfato de alumínio/F3 apresentou o melhor conjunto de resultados. Já o tratamento cujo coagulante empregado foi a *Moringa oleifera* que apresentou o melhor conjunto de resultados foi *Moringa oleifera*/F3.

Sugere-se continuação deste trabalho de modo a ter como possíveis objetivos a potencialização da eficiência de remoção de coliformes totais, o estudo investigativo para analisar se a redução do pH proporcionada pelo uso do filtro de borra de café (F4) esta correlacionada a boa eficiência de remoção de *Escherichia coli* nestes tratamentos, a análise de qual é espessura de não tecido geotêxtil agulhado perfeita para a construção do meio filtrante do F3, e a adição do processo de desinfecção ao final do tratamento para observar o efeito deste na eficiência de remoção de coliformes totais e *Escherichia coli*.

REFERÊNCIAS

AHANGARI, B.; SARGOLZAEI, J. **Extraction of lipids from spent coffee grounds using organic solvents and supercritical carbon dioxide.** Journal of Food Processing and Preservation. N. 37, p. 1014-1021, 2013.

ALUVINO, G. C. R. **Estudo da aplicação do extrato de semente de *Moringa oleifera* visando a substituição do coagulante sulfato de alumínio em uma estação de tratamento de água para abastecimento.** 48p. Monografia (Curso de Engenharia Industrial Química) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

ANA – Agencia Nacional de Aguas. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos traz balanço da situação e da gestão das águas no Brasil.** Disponível em: < http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorio_Conjuntura/projeto/index.html >. Acesso em: 14 de outubro de 2018.

APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater.** 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

ARANTES, C. C. et al. **Uso de coagulantes naturais à base de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido.** Eng. Agríc. Jaboticabal. vol.34, n.4, p.780-788. 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/engagri/v34n4/17.pdf>>. Acesso em: 3 de junho de 2019.

BATISTA, L. R.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. A. ; ANTONIOSI FILHO, N. R. . **Produção de filtros de purificação de água a partir de co-produtos da produção de biodiesel etílico de óleo de borra de café.** 2012. Disponível em: < <http://www.sbpnet.org.br/livro/64ra/resumos/resumos/3883.htm> >. Acesso em: 14 de outubro de 2018.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. **Improvement of water treatment pilot plant with *Moringa oleifera* mextract as flocculant agent.** Environmental Technology, London, v. 30, n.6, p.525-534. 2009. Disponível em: < <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09593330902831176> >. Acesso em: 30 de maio de 2019.

BIANCHIN, E.; BALSAN, G. A.; OLIVEIRA, P. G.; NUNES, E. O. **Verificação da eficiência de remoção de contaminantes microbiológicos nas principais operações unitárias de um sistema de tratamento de água destinada ao consumo humano.** PERSPECTIVA, Erechim. V.36, n.135, p.75-83, setembro/2012. Disponível em: < http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/135_291.pdf >. Acesso em: 30 de maio de 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília. Funasa, 2014. 122p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de out. 2017. Seção 1.

BRITO, L. L. A. de; CARDOSO, A. B.; SALVADOR, D. P.; HELLER, L. **Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto**. Eng. Sanit. Ambient. vol.10 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000400007>. Acesso em: 05 de junho de 2019.

BRUNI, J. C. **A Água e a Vida**. In: Tempo Social. Revista de Sociologia da USP. São Paulo, 1993. N. 5, v. 1-2, p. 53-65.

DALSASSO, R. L.; SENS, M. L. **Filtração direta com pré-floculação e coagulação com sulfato de alumínio e hidroxiclreto de alumínio: estudo com água de manancial eutrofizado**. Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2006, vol.11, n.3, pp.241-249.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: Rima Editora, v. 1. 792 p., 2005.

FERNANDES, N. M. G.; GINORIS, Y. P.; RIOS, R. H. T.; BRANDAO, C. C. S. **Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente**. Eng. Sanit. Ambient. [online]. vol.15, n.4, pp.375-3842, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n4/a10v15n4.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2019.

FERRAZ, C.F.; PATERNIANI J. E. S. **Redução da Espessura da Camada Suporte através da substituição por Mantas não tecidas na Filtração Lenta de Águas de Abastecimento**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 7-Nº 1-jan/mar 2002.

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

HENRIQUES, J. A. et al. **Potencial de uso da *Moringa oleifera* Lamarck na clarificação de água para abastecimento em comunidades difusas de áreas semiáridas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Campina Grande, v. 1, n. 31, p.76-83, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da População das Unidades da Federação por sexo e idade: 2000-2030, revisão 2013**. Disponível em: < https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/default.shtm >. Acesso em: 14 de outubro de 2018.

IOSHIMURA, R. A. **Estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento da água**. 2016. 63p. Trabalho

de Graduação (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2nd ed. Canada: John Wiley & Sons, INC., 2000. 2nd ed. 681p.

LIBÂNIO, M.. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 494 p., 2010.

LO MONACO, P.A.V.; MATOS, A.T.; RIBEIRO, I.C.A.; NASCIMENTO, F.S.; SARMENTO, A.P. **Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias**. *Ambi-água*, Taubaté, v.5, n.3, p.222-231, 2010.

LO MONACO, P.A.V.; MATOS, A.T.; SARMENTO, A.P.; LOPES JÚNIOR, A.V.; LIMA, J.T. **Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.17 n.6, p.473-480, nov./dez. 2009.

MACEDO, J. A. B. de **Águas & águas**. 3. ed. rev. atual. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1027 p.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, A. L.; DE JÚLIO, M.; DUTRA, R. H. A.; SILVA, P. A. G. **Floculação: considerações a partir da análise clássica e da avaliação direta da distribuição de tamanho de partículas**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, p. 1-8, 2016.

MOURA, C. L. **Extração e caracterização da composição lipídica da borra de café e o estudo do potencial de aproveitamento deste resíduo**. 2016. 57f. Dissertação (Curso de Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

OLIVEIRA N.T.; NASCIMENTO K.P.; GONÇALVES B.O.; LIMA F.C.; COSTA A.L.N. **Tratamento de água com *Moringa oleifera* como coagulante/floculante natural**. *Rev Cient Fac Educ e Meio Ambiente [Internet]*. 2018;9(1):373-382. DOI: <http://dx.doi.org/10.31072/rcf.v9i1.539>.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de café dezembro 2018**: Segundo ano de excedentes previsto para 2018/19. 2018. Relatório. Disponível em: < http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/relatorio_oic_dezembro_2018.pdf>. Acesso em: 3 de junho de 2019.

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.

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

PEREIRA, E.R.; VIZIBELLI, D.; RIBEIRO, T. ; JANZ, F. J. L. ; PATERNIANI, J.E.S. . **Associação da filtração direta e uso de coagulantes naturais e químicos no tratamento de água de abastecimento.** In: João Dallamuta. (Org.). Estudos transdisciplinares nas engenharias. 1ed.Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, v. 1, p. 31-37.

RAMACHANDRAN, C.; PETER, K.V.; GOPALAKRISHNAN, P.K. **Drumstick (*Moringa oleifera*) a multipurpose Indian vegetable.** Economy Botany, v.34, p.276-283, 1980.

RANGEL, M.S.A. ***Moringa oleifera*; uma planta de uso múltiplo.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. 41p. (Embrapa-CPATC. Circular Técnica, 9).

REIS, G. **Eficiência de filtros de areia recoberta com nanopartículas de prata na remoção de microesferas de poliestireno.** 136 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2014.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher LTD, 332 p., 1991.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

SANTOS, D. M. dos. **Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de café em escala laboratorial.** (Dissertação de Mestrado), São Paulo: USP, 2010.

SANTOS, F. F. de S. dos. **Comparação entre os meios filtrantes areia e anoitecido sintético na eficiência da filtração lenta para tratamento de água.** (Tese de Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2015.

SANTOS, G. R. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água.** 2011. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro.

SIQUEIRA, A. P. S. et al. **Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e Tanino como alternativa ao Sulfato de alumínio para o tratamento de água.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia. vol. 15. n.27. p.18. 2018. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/eng/analise%20da%20performance.pdf>>. Acesso em: 3 de junho de 2019.

THEODORO, J.D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano.** 184f. Tese

(Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

UN/DESA - United Nations Department of Economic and Social Affairs. **World Population Prospects: The 2017 Revision**. Disponível em: < <https://population.un.org/wpp/> >. Acesso em: 14 de outubro de 2018.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. D.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia**. Eclética Química, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VEGRO, C.L.R., CARVALHO, F.C. **Disponibilidade e utilização de resíduos no processamento agroindustrial do café**. Informações Econômicas, v. 24, n. 1, pp.9-16, jan. 1994.

VERSIANI, L.C.F. **Caracterização das propriedades coagulantes e adsorventes de íons Cd(II) em soluções aquosas apresentadas por biomateriais derivados da *Moringa oleifera***. 2008. 96p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Ambiental) Universidade de Ouro Preto. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e Mestrado em Engenharia Ambiental. Ouro preto. 2008.

VON SPERLING, M. 2007. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA-UFMG. vol. 7. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios, 588.