

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

DANILO CESAR CAZÚ

TRATAMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA SODIS COM UTILIZAÇÃO DE
Moringa oleifera

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2019

DANILO CESAR CAZÚ

TRATAMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA SODIS COM UTILIZAÇÃO DE
Moringa oleifera

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina TCC 2, do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira.

LONDRINA

2019



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



TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO DE ÁGUA POR SISTEMA SODIS COM UTILIZAÇÃO DE *Moringa*

oleifera

por

Danilo Cesar Cazú

Monografia apresentada no dia 05 de dezembro 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).

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientadora

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente devo agradecer a Deus por ter me dado essa oportunidade juntamente com muita força, paciência, perseverança, coragem e sabedoria para alcançar essa etapa e sonho na minha vida.

Agradeço imensamente aos meus pais Júlio e Rosi, que proporcionaram da melhor maneira possível a formação da minha educação, para se tornar a pessoa em que sou hoje, por apoiar minhas decisões, por ser meu porto seguro, pelos incentivos e conselhos que me dão, pelo amor e cuidado que tem por mim, sem vocês nada disso seria possível, na qual tenho muito orgulho, amo muito vocês.

As minhas avós Maria e Filó por todo cuidado de vocês, e amor comigo em todos esses anos da minha vida, agradeço também a todos os meus tios, tias e primos que de certa forma apoiaram e incentivaram a minha formação. Em especial ao meu primo Rafael e a todos da Portinari Estofados na qual me cedeu material, ferramentas e espaço para a fabricação do concentrador solar.

Agradeço muito a minha namorada Amanda, por sempre estar ao meu lado, por acompanhar nas minhas decisões e conquistas, por todo amor, orientações, carinho, atenção e paciência, sem você e a sua família que me acolheram, tudo ficaria mais difícil a minha vida aqui em Londrina, te amo muito.

Agradeço a todos os docentes e funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, por todos os ensinamentos e experiências compartilhadas e exemplos de profissionais. Agradeço em especial a minha orientadora Profa. Dra. Edilaine, pela confiança, apoio, orientações em todo o projeto e sempre disponível quando precisei, e também aos professores da banca Maurício e Joseane.

Agradeço também a todos os meus amigos, em especial ao time Forrest Runners, ao grupo Junin da 11 e Jacarandá 701, por todos esses anos aqui em Londrina, na qual acompanharam o sacrifício da minha graduação. Aos meus amigos do laboratório “teammoringa” por toda a ajuda nas análises do laboratório, na fabricação dos filtros e orientações.

A SAMAE de Ibiporã, na qual me ajudou muito nas análises do meu trabalho, e a todos que contribuíram direta e indiretamente na minha vida, muito obrigado.

RESUMO

CAZU, D. C. **Tratamento de água por sistema SODIS com utilização de *Moringa oleifera***. 2019. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

O crescimento acentuado da população mundial conduziu a um aumento considerável no consumo de água potável, no entanto significativa parcela desta população reside em localidades nos quais o saneamento básico é precário ou até mesmo inexistente. Neste contexto, a utilização do sistema *Solar Water Desinfection* (SODIS) associado a coagulante orgânico tornou-se uma alternativa atraente para a desinfecção de água, tendo em vista a sua elevada eficiência e sustentabilidade. O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência da desinfecção da água com a utilização da radiação solar associado ao uso de coagulante orgânico *Moringa oleifera*. Com isso foi coletado 75 litros de água do Ribeirão Três Bocas, para a realização dos ensaios de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Os ensaios foram conduzidos em 3 dias em duplicata, e foram construídos dois concentradores solar utilizando material de baixo custo, onde foram posicionadas garrafas PET de 1 L no interior dos concentradores e foram utilizados os seguintes tratamentos: Garrafa 100% pintada (G1), Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltado pra cima (G2), Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltado pra baixo (G3) e Garrafa sem aplicação de tinta (G4) e após 4 horas de exposição ao sol foram coletadas as amostras de água e analisados os parâmetros temperatura, pH, condutividade elétrica, cor aparente, cor verdadeira, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* para cada ensaio. Após a desinfecção, a temperatura apresentou um aumento entre os tratamentos em função da radiação solar, mantendo uma média de 29°C. Já para o pH não houve uma significativa variação nos valores entre os tratamentos, mantendo uma média de 7. Na condutividade elétrica os valores entre os tratamentos não apresentaram uma significativa variação, ocorrendo a variação apenas no ensaio 1 onde a condutividade elétrica apresentou um valor médio de 300 μScm^{-1} em relação ao ensaio 2 e 3 que apresentou um valor médio de 200 μScm^{-1} . A remoção de cor aparente foi bastante significativa com uma eficiência acima de 89% nos tratamentos após a exposição solar, mostrando um bom funcionamento do sistema SODIS. A cor verdadeira mostrou uma eficiência de 100% de remoção após a desinfecção. Para turbidez os valores alcançados de eficiência foram acima de 96% tendo os resultados satisfatórios para todos os tratamentos. Para coliformes totais e *E coli*. o concentrador solar foi muito eficiente, mostrando a eliminação de 100% para todos os tratamentos para os ensaios 1 e 3, na qual ocorreu em dias de sol com temperaturas superior a 60°C. Já para o ensaio 2 não houve a eliminação suficiente devido a condição meteorológica presente no dia, no entanto houve mesmo assim uma diminuição nos seus valores, demonstrando que o tratamento completo da água com uso do sistema SODIS no final do processo não foi satisfatório. Em relação a análise de variância entre os ensaios 1 e 3 não houve diferença significativa entre os tratamentos para todos os parâmetros. A ação do SODIS apresentou uma eficiência de 100% de remoção de coliformes em dias de alta radiação solar, e para dia com nebulosidade teve uma diminuição do número de coliformes, mas não houve eliminação, sendo um processo eficaz, alternativo e barato para a desinfecção da água.

Palavras-chaves: Desinfecção solar, Coagulante orgânico e Concentrador solar.

ABSTRACT

CAZU, D. C. Water treatment by the SODIS system using *Moringa oleifera*. 2019. 69 p. Final Paper (Graduation in Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

The sharp growth of the world population has led to a considerable increase in drinking water consumption, but a significant portion of this population lives in locations where sanitation is poor or even non-existent. In this context, the use of the Solar Water Disinfection (SODIS) system associated with organic coagulant has become an attractive alternative for water disinfection, due to its high efficiency and sustainability. The objective of this work is to evaluate the efficiency of water disinfection with the use of solar radiation associated with the use of *Moringa oleifera* organic coagulant. Thus, 75 liters of water from Ribeirão Três Bocas was collected for the coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection tests. The tests were conducted in 3 days in duplicate, and two solar concentrators were constructed using low cost material, where 1 L PET bottles were placed inside the concentrators and the following treatments were used: 100% painted bottle (G1), Bottle 50% horizontally painted face up (G2), Bottle 50% horizontally painted face down (G3) and Bottle without paint application (G4) and after 4 hours of exposure to the sun, water and Temperature, pH, electrical conductivity, apparent color, true color, turbidity, total coliforms and *Escherichia coli* parameters were analyzed for each assay. After disinfection, the temperature increased between treatments due to solar radiation, maintaining an average of 29 ° C. For pH there was no significant variation in values between treatments, maintaining a mean of 7. In electrical conductivity values between treatments did not show a significant variation, occurring only in test 1 where electrical conductivity showed a mean value. 300 μScm^{-1} compared to assay 2 and 3 which had an average value of 200 μScm^{-1} . The apparent color removal was quite significant with an efficiency above 89% in the treatments after sun exposure, showing a good functioning of the SODIS system. True color showed 100% removal efficiency after disinfection. For turbidity the achieved efficiency values were above 96% with satisfactory results for all treatments. For total coliforms and *E. coli*. The solar concentrator was very efficient, showing 100% elimination for all treatments for trials 1 and 3, which occurred on sunny days with temperatures above 60 ° C. For test 2 there was not enough elimination due to the weather conditions on the day, however there was a decrease in its values, demonstrating that the complete water treatment using the SODIS system at the end of the process was not satisfactory. Regarding the analysis of variance between tests 1 and 3, there was no significant difference between treatments for all parameters. The action of SODIS showed a 100% efficiency of coliform removal on days of high solar radiation, and for days with cloudiness had a reduction in the number of coliforms, but there was no elimination, being an effective, alternative and cheap process for disinfection. from water.

Keywords: Solar disinfection, Organic coagulant and Solar concentrator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação gráfica da distribuição de água no planeta	3
Figura 2 – Árvore e vagem com semente de <i>Moringa oleifera</i>	9
Figura 3 – Modelo de Concentrador solar proposto pelo IMTA	18
Figura 4 – Localização do Ribeirão Três Bocas	20
Figura 5 – Laboratório de Recursos Hídricos da UTFPR	21
Figura 6 – Local de instalação do concentrador solar	21
Figura 7 – Ingredientes para o preparo da solução e a solução pronta	22
Figura 8 – Aparelho de Jar-test utilizado no ensaio	23
Figura 9 – Filtração após a sedimentação	25
Figura 10 – Filtro montados com areia em duas granulometrias	26
Figura 11 – Construção do concentrador solar	27
Figura 12 – Croqui do concentrador solar com vista frontal	28
Figura 13 – Garrafas tipo PET utilizadas no concentrador solar	28
Figura 14 – Garrafas expostas a radiação no concentrador solar	29
Figura 15 - Seladora Quanti -Tray Sealer Modelo 2x com a placa ao lado	31
Figura 16 - Câmara escura com luz UV para contagem de <i>E. coli</i>	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da temperatura ambiente e dos tratamentos no ensaio 1	33
Gráfico 2 – Variação da temperatura ambiente e dos tratamentos no ensaio 2	34
Gráfico 3 – Variação da temperatura ambiente e dos tratamentos no ensaio 3	35
Gráfico 4 – Variação da temperatura (°C) após a exposição solar	36
Gráfico 5 – Variação do pH após a exposição solar	37
Gráfico 6 – Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) após a exposição solar	38
Gráfico 7 – Eficiência de remoção de cor (%)	40
Gráfico 8 – Eficiência de remoção de cor verdadeira (%)	42
Gráfico 9 – Eficiência de remoção de turbidez (%)	43
Gráfico 10 – Eficiência de remoção de coliformes (%)	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espectro eletromagnético (metros)	16
Tabela 2 – Microrganismos inativados pela radiação UV-A	17
Tabela 3 – Padrões de potabilidade Portaria de Consolidação nº5/2017	19
Tabela 4 – Parâmetros, metodologias e equipamentos utilizados	30
Tabela 5 – Valores médios da cor aparente das amostras em (mg PtCo.L-1)	39
Tabela 6 – Valores médios da cor verdadeira das amostras em (mg PtCo.L-1)	41
Tabela 7 – Valores médios de turbidez das amostras em (NTU)	43
Tabela 8 – Valores de Colif. Totais e <i>E. coli</i> por (VMP) em cada ensaio	44
Tabela 9 – Análise de variância para temperatura	47
Tabela 10 – Análise de variância para pH	48
Tabela 11 – Análise de variância para condutividade elétrica	48
Tabela 12 – Análise de variância para cor aparente	49
Tabela 13 – Análise de variância para cor verdadeira	49
Tabela 14 – Análise de variância para turbidez	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	2
2.1	Objetivo Geral	2
2.2	Objetivo Específico	2
3	REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1	Tratamento de água	5
3.1.1	Coagulação	6
3.1.2	Coagulantes	8
3.1.3	Floculação	11
3.1.4	Sedimentação	12
3.1.5	Filtração	12
3.1.6	Desinfecção	13
3.1.6.1	Desinfecção Solar	14
3.1.6.2	Concentrador Solar	18
3.2	Legislação	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Coleta da amostra	21
4.2	Local do ensaio	21
4.3	Preparo da solução coagulante	23
4.4	Pré-ensaio	24
4.5	Ensaio laboratorial	24
4.6	Concentrador solar	27
4.7	Parâmetros analisados	31
4.8	Análise estatística	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Variação de temperatura nos concentradores	34
5.2	Temperatura	37
5.3	Potencial Hidrogeniônico (pH)	38
5.4	Condutividade elétrica	40

5.5	Cor Aparente	41
5.6	Cor Verdadeira	43
5.7	Turbidez	44
5.8	Coliformes	46
6	RESULTADOS ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
6.1	Análise estatística para temperatura	47
6.2	Análise estatística para pH	48
6.3	Análise estatística para Condutividade Elétrica	48
6.4	Análise estatística para Cor aparente	48
6.5	Análise estatística para Cor verdadeira	49
6.6	Análise estatística para Turbidez	49
7	CONCLUSÃO	50
8	REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

A água tem um valor fundamental para a manutenção da vida na terra, sendo indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades, apresentando diversos valores econômicos, sociais e culturais. O nosso planeta é composto por três quartos da sua superfície coberto pela água, sendo uma pequena parcela referente à água doce. Observa-se que a disponibilidade de água doce é variada de acordo com a região como também a sua qualidade (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Em muitas regiões a água além de ser escassa possui um padrão de qualidade impróprio ao consumo humano, devido ao despejo de esgotos sanitários e industriais nos mananciais, o que se faz necessário o tratamento da água para o uso (SILVA, 2010). A qualidade da água é essencial para uma vida saudável, pois é um dos principais veículos de transmissão de doenças, como bactérias, vírus e protozoários, sendo considerada uma das maiores preocupações das populações.

O emprego da tecnologia no tratamento da água com o uso de coagulante orgânico como a extração da semente da *Moringa oleifera*, busca novas alternativas ao tratamento da água uma vez que o uso desses possuem menor custo e tem uma eficiência equiparada ao dos coagulantes inorgânicos, buscando uma distribuição de água tratada com a remoção dos parâmetros de turbidez, cor e sólidos dissolvidos, e na desinfecção a utilização do sistema *Solar Water Disinfection* (SODIS), na qual com a utilização de energia solar associada a alta temperatura (superior a 60°C) promove a eliminação dos microrganismos presentes na água (CANGELA, 2014).

O SODIS é um processo simples de desinfecção, utilizando radiação solar ultra violeta tipo a (UV-A) para a eliminação dos microrganismos patogênicos entre eles a *Escherichia coli*, onde o procedimento consiste expor a água à radiação para a eliminação dos microrganismos, sendo utilizado em regiões com alta radiação solar, com baixo poder aquisitivo e com materiais de baixo custo (MEIERHOFER; WEGELIN, 2002).

Diante disso, este trabalho tem como propósito avaliar a eficiência da desinfecção da água com a radiação solar (SODIS) com a utilização do coagulante orgânico utilizado no processo de coagulação e floculação, com a finalidade de atender os padrões de potabilidade da água de acordo com o Anexo XX, da Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como principal objetivo avaliar a eficiência da desinfecção da água com radiação solar (SODIS) auxiliado pelo uso do coagulante orgânico extraído da semente da *Moringa oleifera*.

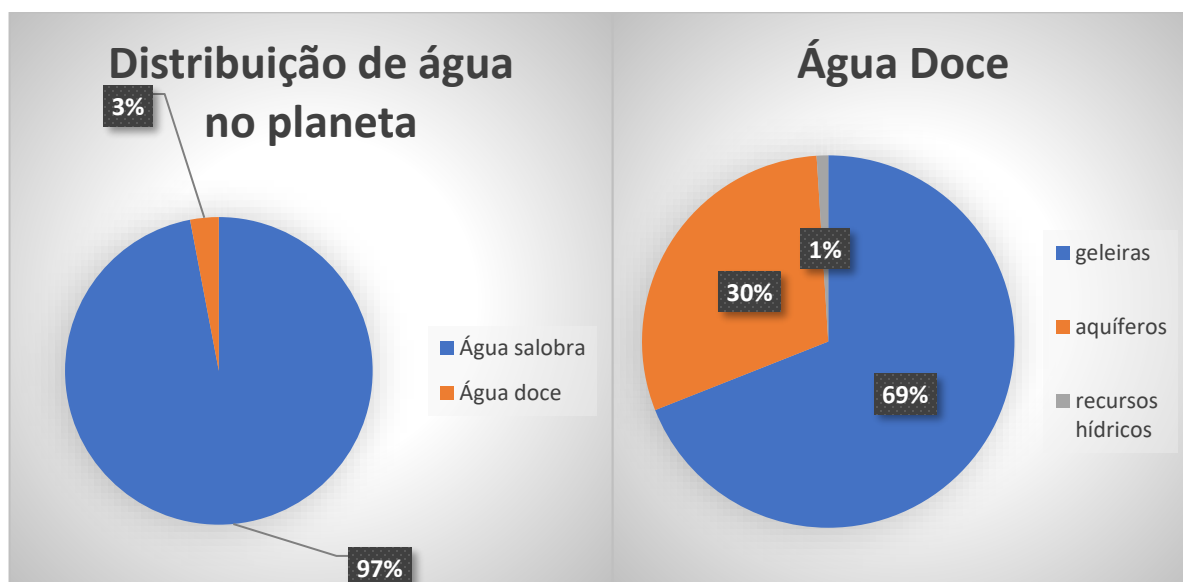
2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura da água.
- Avaliar a eficiência de remoção dos parâmetros cor verdadeira, cor aparente, turbidez, coliformes totais e *E coli*.
- Comparar os resultados obtidos com o anexo XX da Portaria de Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017 para potabilidade da água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) aproximadamente 97% de toda água presente no planeta é de origem salobra, sendo esta inadequada para o consumo direto da população e na utilização para irrigação de plantações e lavouras. Dos 3% restante é água doce, sendo uma grande parte (69%) presente nas geleiras e os outros 30% presentes em aquíferos e águas subterrâneas. Desse total, apenas 1% é encontrado em rios e lagos atendendo o consumo humano. A Figura 1 representa graficamente a distribuição de água salobra e a distribuição da água doce no planeta.

Figura 1- Representação gráfica da distribuição de água no planeta.



Fonte: ANA (2019).

Os recursos hídricos representado por aproximadamente 1% são utilizados de forma indireta como no abastecimento da população urbana, na utilização das indústrias e também utilizado na zona rural como fonte de irrigação, mas também pode ser utilizado na forma direta como na geração de energia elétrica através das hidroelétricas, navegação, pesca e atividades aquáticas. No Brasil, o consumo de água corresponde a 72% a irrigação, 11% consumo animal, 9% de abastecimento humano, 7% no setor industrial e 1% no abastecimento rural (ANA, 2012).

Segundo Borsoi e Torres (1997) a preocupação com a gestão dos recursos hídricos adveio junto a Conferência Mundial sobre Meio Ambiente de Estocolmo em 1972, na qual definia o princípio das instituições nacionais a planejar, administrar e controlar a utilização dos recursos naturais, com o intuito da qualidade ambiental. Na conferência Mundial sobre Meio Ambiente do Rio de Janeiro em 1992, foram estabelecidos os compromissos sobre os recursos hídricos, sendo seu objetivo a garantia do suprimento adequado de água de boa qualidade para toda a população do planeta e a preservação das funções biológicas, hidrológicas e químicas dos ecossistemas.

Em dezembro de 2015 foi aprovada pela Assembleia Geral das Nações Unidas a Agenda 2030, com 17 objetivos para o Desenvolvimento Sustentável sendo este um guia de ações estratégicas para o alcance do desenvolvimento econômico, social e ambiental por parte de 193 países (SILVA, 2018).

O 6º objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS 6) da Organização das Nações Unidas (ONU) diz respeito a “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do esgotamento sanitário para todos”, ou seja, à água é um direito humano (CASTRO, 2016). Dentre os objetivos, até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável para todos; o acesso a saneamento; melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição; aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez e implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, e em até 2020 proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água.

De acordo com o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) de 2017, cerca de 2 bilhões de pessoas não possuem acesso a água potável, mais de 800 milhões não possuem serviço de básico de água potável e quase 160 milhões bebem água não tratada de fontes superficiais como rio e lagos. Entre as principais conclusões do relatório é que muitos países não tem um monitoramento sobre a qualidade dos serviços de água e saneamento e existem grandes lacunas entre áreas urbanas e rurais, de 160 milhões de pessoas que utilizam águas superficiais não tratadas, 150 milhões vivem em zonas rurais (UNICEF, 2017).

3.1 Tratamento da Água

Apesar da água do planeta ter aproximadamente do seu total 3% de água doce e dessa porcentagem apenas 1% prover dos recursos hídricos, aborda-se a necessidade de um reuso dessa água. Nas regiões secas do Nordeste, o acesso a água dificulta o desenvolvimento da região com indústrias e atividades agrícolas, mas não apenas em regiões secas enfrenta a escassez, em regiões com recursos hídricos abundantes carecem da falta de água pelo seu uso exacerbado, como exemplo a bacia do Alto do Tietê, que atende uma demanda da região metropolitana de São Paulo (HESPANHOL, 2002).

O abastecimento de água é um serviço necessário a vida das pessoas e das comunidades definido por um conjunto de ações sobre o meio ambiente na qual as pessoas vivem, com o intuito de garantir condições de salubridade, protegendo assim sua saúde e conseqüentemente seu bem-estar físico, mental e social (HELLER E PÁDUA, 2006).

Segundo este mesmo autor o abastecimento de água mantém uma relação de ganho e perda com o meio ambiente, principalmente com o corpo hídrico, ou seja, de um lado o corpo hídrico dele dependendo é indispensável para o abastecimento do outro realiza-se o uso, na qual provoca impactos, na qual após o consumo a água retorna ao ambiente em sua maior proporção como esgotos.

Como um bom abastecimento de água suficiente, a qualidade ofertada de água é essencial que seja saudável e pura, pois a água é o veículo mais comum na transmissão/veiculação de doenças, sendo esta considerada umas das maiores preocupações das populações. Com isso, o tratamento de água tem como objetivo reduzir as impurezas existentes nas águas tornando-a potável (FREITAS, 2011).

Para o tratamento de água, um conjunto de processos físico-químicos visa propiciar uma água potável, atendendo aos parâmetros legais de potabilidade. O tratamento de água convencional é destinado às águas que possuem partículas em suspensão e partículas coloidais que necessita de um tratamento químico a fim de se obter uma deposição das partículas e com um baixo período de detenção. Para esse

tratamento convencional é aplicado as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (SAMAE, 2016).

O Ministério da Saúde publicou em 28 de setembro de 2017 a Portaria de Consolidação nº5, artigo 129, que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

3.1.1 Coagulação

Vários tipos de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes na água estão ligados a partículas suspensas ou dissolvidas, na qual requerem a coagulação para facilitar a remoção dessas impurezas.

O processo de coagulação se baseia na interação de processos físicos e químicos, na qual o processo químico baseia-se nas reações do coagulante com a água onde os íons metálicos (coagulantes) carregados positivamente forma uma forte ligação com os átomos de hidrogênio (água) ocasionando a hidrólise com carga positiva e depende da concentração do metal e do pH final da mistura; já o processo físico baseia-se no transporte das espécies hidrolisadas com o intuito de realizar contato com as impurezas da água, sendo este processo rápido, dependendo das demais características como pH, temperatura e outras (BERNARDO; DANTAS, 2005).

A coagulação depende das principais características da água e das impurezas presentes, como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, sólidos totais dissolvidos e outros, fazendo com que haja uma verificação dos parâmetros para poder aplicar o tratamento de coagulação com seus coagulantes (DI BERNARDO, 1993).

A etapa de coagulação é resultante de ação individual ou conjunta de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes (PAVANELLI, 2001).

- Compressão Dupla Camada Elétrica

Segundo Libanio (2010), este mecanismo da compressão da dupla camada ocorre quando há uma adição de íons de carga positiva onde atravessam a camada

compactada, com isso reduz a magnitude do Potencial Zeta (aplicação da diferença de potencial em uma amostra de água contendo coloides negativos, na qual caminha junto ao eletrodo positivo) e a espessura da dupla camada, permitindo a aproximação das partículas.

Ou seja, a introdução de um eletrólito num sistema coloidal causará aumento da densidade de cargas na camada difusa e com isso diminuirá a esfera de influência das partículas, ou seja, concentrações de íons positivos e negativos aumentam o número de íons na camada difusa, onde para manter neutra tem seu volume reduzido, fazendo com que as forças de Van der Waals sejam dominantes (CANGELA, 2014).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), as forças de Van der Waals são forças atrativas entre partículas (interações dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido e de dispersão), estas forças estão associadas às flutuações na densidade eletrônica de átomos, na qual as forças atuantes sobre cada par de átomos são aditivas, resultando em uma energia de atração inversamente proporcional ao quadro da distância entre as superfícies da mesma.

- Adsorção-desestabilização

Este mecanismo ocorre logo após a aplicação do coagulante na água, na qual há a formação de moléculas hidrolisadas de cargas positivas que podem ser absorvidas nas superfícies das partículas desestabilizando, na qual a adsorção deve ocorrer em um curto intervalo de tempo abaixo de 1s e com alta velocidade de agitação (LIBANIO, 2010).

A desestabilização de uma dispersão coloidal, consiste nas interações entre coagulante e colóide, coagulantes-solventes e colóides-solventes. O mecanismo de adsorção-neutralização de carga é importante quando o tratamento é realizado por filtração direta, não havendo produção de flocos para sedimentação ou flotação, sendo as partículas retiradas no meio granular dos filtros (DI BERNARDO E DANTAS, 2015).

- Varredura

A quantidade adicionada de coagulante, os valores de pH da mistura e da concentração de determinados íons na água, pode ocorrer a formação de precipitados de hidróxido de alumínio ou de ferro, na qual os flocos obtidos nesse mecanismo são maiores, sedimentam ou flutam com maior facilidade (DI BERNARDO E DANTAS, 2015).

Segundo Libanio (2010), esse mecanismo é predominante em estações de tratamento de água, os flocos formados apresentam densidade (1,01 a 1,05) superior a água, na qual favorece a não sedimentação e favorece o arraste às unidades filtrantes.

- Formação de pontes químicas

Segundo Di Bernardo e Dantas (2015), o mecanismo de adsorção e formação de pontes caracteriza-se por envolver o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, na qual tem a função de ponte entre a superfície à qual estão aderindo e outras partículas.

A molécula de polímero deve ser longa o suficiente para diminuir a repulsão da dupla camada quando da aproximação de partículas e permitir a adsorção em uma superfície (LIBANIO, 2010).

3.1.2 Coagulantes

Uma das principais características para usar um coagulante no tratamento de água consiste na capacidade de produzir precipitados e espécies hidrolisadas em dissociação no meio aquoso, com a capacidade de desestabilizar ou envolver as partículas suspensas e coloidais presentes nas águas (LIBÂNIO, 2010).

Segundo este mesmo autor, para definir o tipo de coagulante empregado no tratamento da água, deve-se relacionar a adequabilidade à água bruta, à tecnologia do tratamento, ao custo do coagulante e a quantidade e características do lodo gerado no tratamento, sendo assim, as características físicas e químicas dos resíduos gerados no tratamento de água serão influenciados pela composição do coagulante.

Para um tratamento de água, há vários tipos de coagulantes que podem ser usados, como por exemplo os coagulantes inorgânicos (sais de alumínio, cloreto férrico), polímeros orgânicos e o coagulante orgânico *Moringa oleífera*.

- *Moringa oleifera*

Vários trabalhos tem sido desenvolvidos nos últimos anos com a utilização de coagulantes orgânicos, com vista a substituição ou complementação dos coagulantes inorgânicos para a obtenção de água tratada. Estes coagulantes orgânicos visam melhorar a etapa de coagulação/floculação, aumentando a quantidade de flocos produzidos e a extinção de metais pesados nos lodos gerados, visando a melhoria da saúde da população (CAMACHO et al, 2014).

A *Moringa oleifera* pertence à família Moringaceae, como mostra a Figura 2, na qual é oriunda da região norte da Índia, na qual se encontra espalhada por outros países da Ásia, África como na região Nordeste do Brasil (PATERNIANI; MONTOVANI; SANT'ANNA, 2009).

Segundo Price e Davis (2000)¹ apud Franco (2010), a espécie de *Moringa oleifera* pode ser cultivada através de sementes ou mudas, na qual cresce de maneira rápida e podendo frutificar em seu primeiro ano de vida, na qual o seu desenvolvimento ocorre em regiões de clima quente e semiárido tropical, com temperaturas na faixa de 25-35°C. Seu desenvolvimento ocorre em solos argilosos e seu crescimento é rápido, atingindo alturas de 6 a 15 metros

Figura 2 – Árvore e vagem com semente de *Moringa oleifera*.



Fonte: Autoria própria (2019).

¹ PRICE, M. L., DAVIS, K. The moringa tree. Echo technical note. Publicado em 1985, revisado em 2000. Disponível em: < <http://www.echonet.org/> > Acesso em 25 de junho de 2009.

Segundo Paterniani et al. (2016), as sementes da *Moringa oleifera* (Figura 3) são utilizadas na clarificação de águas turvas, na qual estudos realizados mostraram uma eficiência na remoção da turbidez e cor aparente de 95% nos processos de Filtração Lenta e Sedimentação.

As descobertas com o uso da semente triturada de *Moringa oleifera* para o tratamento da água, constitui uma alternativa de alta relevância na remoção de bactérias, na qual apresentou reduções na ordem de 90 a 99%. As sementes de *Moringa oleifera* contêm proteínas com baixo peso molecular, e quando seu pó é dissolvido em água acabam possuindo cargas positivas que atraem cargas negativas como argila e sílica, formando flocos densos que sedimentam (PATERNIANI et al., 2009).

Estudo realizado por Camacho et al. (2005), avaliou a eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural na remoção das células de cianobactérias, cor e turbidez, na qual apresentou uma fonte alternativa e eficiente de tratamento de água com cianobactérias, onde a remoção de cor atingiu até 94% e de turbidez atingiu uma remoção de até 91%.

3.1.3 Floculação

Após a coagulação é necessária uma agitação lenta na água, com a finalidade de ocorrer choques térmicos entre as impurezas, na qual se aglomeram formando partículas de tamanhos maiores chamadas de flocos, sendo estes removidos pelo processo de sedimentação e da filtração (BERNARDO; DANTAS, 2005).

Segundo Schoenhals (2006), a etapa de floculação consiste na agregação de partículas já desestabilizadas, resultantes de choques entre si, formando partículas maiores com o objetivo de separação dos coloides da água.

A formação de flocos se dá à medida que há colisões entre as partículas, na qual para a sua formação de grande densidade e tamanhos grandes é necessária uma agitação de aproximadamente 30 minutos, além de uma dosagem adequada de coagulantes influenciada pelo pH e outros fatores (NUNES, 2012).

A floculação é uma das operações unitárias da clarificação com o objetivo de reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida, fornecendo tempo e agitação promovendo choques entre as partículas desestabilizando e formando flocos que serão removidos na sedimentação/flotação ou filtros (LIBANIO, 2010).

De acordo com Libanio (2010), a forma como o transporte das partículas desestabilizadas realiza-se para a formação dos flocos refere-se ao mecanismo intervenientes na floculação, na qual o transporte das partículas pode ser de três formas:

- I. Floculação pericinética (movimento Browniano);
- II. Floculação ortocinética (diferença de velocidade das linhas de corrente do fluido em escoamento);
- III. Sedimentação diferencial (diferenças de velocidade de sedimentação dos flocos).

O movimento aleatório das partículas coloidais permite as primeiras colisões entre as partículas desestabilizadas, decorrente do movimento Browniano na qual depende da energia térmica do fluido e da ação da gravidade, na qual as partículas coloidais desestabilizadas chocam-se e formam os flocos caracterizando a floculação pericinética. Já a floculação ortocinética é a formação de flocos maiores e mais densos através da energia externa que impulsiona a aglomeração das partículas desestabilizadas formadas pelo movimento Browniano, na qual são mais fáceis de serem removidos. A sedimentação diferencial refere-se a diferença de volume e densidade dos flocos formados, formando diferentes velocidades de sedimentação, fazendo com que o movimento descendente da decantação ocorra colisões e formação de flocos maiores e pesados (LIBANIO, 2010).

3.1.4 Sedimentação

A sedimentação ou decantação é uma operação unitária que traduz a eficiência das etapas anteriores (coagulação, floculação), onde busca diminuir a concentração de

partículas às unidades filtrantes, sendo esse a última etapa de clarificação no contexto de múltiplas barreiras no tratamento de água (LIBANIO, 2010).

A sedimentação consiste em um fenômeno físico, com ação da força da gravidade, na qual as partículas realizam um movimento descendente em meio líquido. A sedimentação das partículas suspensas propicia clarificação do meio líquido, ou seja, a separação de fases líquidas e sólidas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a velocidade de sedimentação dos flocos vai depender da qualidade da água bruta, bem como das características químicas da coagulação e dos parâmetros físicos da floculação.

O processo de sedimentação não é capaz de remover todas as impurezas presentes na água, essas partículas precisam passar por um processo de aglomeração para formar flocos com maior densidade para uma deposição no fundo do decantador (PIANTÁ, 2008).

3.1.5 Filtração

Dentre todos os processos utilizados no tratamento de água, a etapa da filtração é a mais importante, pois é nesse processo que são retidas todas as partículas e resíduos. No processo de filtração toda a sujeira desde partículas grande a menores é retirada (BRANDÃO, 2011).

Segundo Richter e Netto (1991) a filtração é um processo de separação sólido-líquido, na qual tem por objetivo a remoção das impurezas da água por sua passagem através de um meio poroso. A filtração pode ser denominada em dois tipos a filtração lenta, na qual a velocidade com que a água atravessa o leito filtrante for baixa, e filtração rápida onde a passagem da água pelo leito filtrante for maior

A filtração rápida em meio granular é o resultado da ação de três mecanismos a saber: transporte, aderência e desprendimento. O mecanismo de transporte é responsável por conduzir as partículas suspensas nos líquidos para as superfícies dos grãos do meio granular, quando as partículas estão próximas aos coletores, forças de ação superficial atuam de modo a aderi-las a superfícies dos mesmos, chamado mecanismo de aderência, removendo a água. Se as forças de cisalhamento superam as

forças de aderência, ocorrerá o mecanismo de desprendimento. Assim que o processo segue as partículas acumulam-se na superfície dos coletores diminuindo o espaço inter granular (HELLER; PÁDUA, 2010).

O material comumente utilizado na composição do leito filtrante se destaca a areia, sendo este utilizado tanto em filtros com camada simples e compostas (MACÊDO, 2007).

3.1.6 Desinfecção

A desinfecção tem por finalidade a destruição de parte ou todo grupo de microrganismo patogênicos presentes na água (bactérias, protozoários, vírus e vermes). A desinfecção é necessária pois não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos, usualmente utilizados no tratamento de água (RICHTER; NETTO, 1991).

Os microrganismos patogênicos transmitidos pela água pertencem aos grupos de bactérias, vírus e parasitas. As bactérias *Vibrio cholera*, *Shigella*, *Salmonella* e diferentes patógenos advindos do *E. coli* são os mais importantes agentes transmitidos pela água, causando problemas a saúde da população, sendo assim o tratamento de água a medida mais importante para a prevenção dessas epidemias (MEIERHOFER; WEGELIN, 2002).

Segundo Heller e Pádua (2010), os agentes desinfetantes agem por meio de um ou mais dos seguintes mecanismos sobre os microrganismos:

- Destruição da estrutura celular;
- Interferência no metabolismo com inativação de enzimas;
- Interferência na biossíntese e no crescimento celular.

No tratamento de água, os dois tipos comuns de mecanismos de desinfecção são a oxidação (com a ruptura da parede celular) e a difusão no interior das células (com interferência na atividade celular). Com isso a capacidade para oxidar moléculas biológicas e a capacidade de difusão através da parede celular são fundamentais para uma desinfecção eficiente (DANIEL, 2001).

A eficiência da desinfecção depende de diversos fatores, tais como tempo de contato com a água, dosagem, tipo de agente químico, intensidade e natureza do agente físico utilizado como desinfetante e tipos de organismos (HELLER; PÁDUA, 2010).

Os produtos químicos mais comum utilizados na desinfecção para a produção de água potável são o gás cloro (Cl_2), o hipoclorito de sódio (NaClO) ou de cálcio (Ca(ClO)_2), o ozônio (O_3) e outros, onde todos os agentes químicos utilizados na desinfecção tem a função de veiculação hídrica e inativação de organismos patogênicos na potabilização das águas.

Já a desinfecção com os agentes físicos tem como objetivo substituir a desinfecção química, na qual a radiação atua por meio físico atingindo os ácidos nucleicos dos microrganismos onde promovem reações fotoquímicas que inativam os vírus e as bactérias, como por exemplo a radiação ultravioleta (UV) (DANIEL, 2001).

3.1.6.1 Desinfecção Solar

A desinfecção da água por sistema solar - SODIS é uma metodologia de baixo custo, sustentável e prático, na qual utiliza-se energia solar e calor para a eliminação de microrganismos patogênicos responsáveis pela má qualidade da água. É ideal para desinfetar águas para uso doméstico, na qual há uma combinação de aumento de temperatura e a incidência a luz UV-A causando a mortandade dos microrganismos causadores de doenças.

A eficiência do processo SODIS depende diretamente da quantidade de luz solar disponível, onde a radiação solar tem intensidades diferentes dependendo da latitude. Segundo Cangela (2014), as regiões mais favoráveis à desinfecção solar localizam-se entre 15°N/S e 35°N/S , pois essas regiões são regiões semiáridas caracterizadas por apresentar uma maior quantidade de radiação solar. Já a segunda região com maior incidência de radiação situa-se entre o equador em latitude 15°N e 15°S , devido à alta umidade e frequente cobertura de nuvens.

Segundo Meierhofer e Wegelin (2002), a tecnologia SODIS apresenta algumas vantagens e desvantagens como mostra a Quadro 1:

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens do sistema SODIS

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da qualidade biológica da água potável; • Melhoria na saúde da família; • Substitui a ausência de sistemas de abastecimento público de água; • Fornece aos usuários um método simples que pode ser aplicado a nível doméstico sob controle do usuário; • Fácil acesso, pois necessita de luz solar e garrafas tipo PET; • Não requer infraestrutura cara; • Apresenta vantagens financeiras, dispensando despesas de fontes de energia como gás, lenha e outros tipos.
Desvantagem	<ul style="list-style-type: none"> • Requer radiação solar suficiente; • Não muda a qualidade química da água; • Não é prático para tratamento de água em grandes volumes; • Requer água relativamente clara com uma turbidez inferior a 30 UNT.

Fonte: Meierhofer e Wegelin (2002),

Segundo Meierhofer e Wegelin (2002), as diferenças sazonais de radiação solar são importantes para a aplicação da desinfecção solar da água. É necessária uma intensidade de radiação solar total de pelo menos 500W/m² por aproximadamente 6 horas para uma eficiência desejável ao SODIS. A eficiência do sistema SODIS depende de:

- Quantidade de energia solar disponível;
- Expor a garrafa ao sol por 6 horas quando o céu estiver limpo ou até 50% nublado;
- Expor a garrafa ao sol por dois dias consecutivos se o céu apresentar mais de 50% de nuvens;

- Se a temperatura da água for de pelo menos 50°C, 1 hora de exposição é suficiente;
- Durante os dias de chuva contínuas, o sistema SODIS não apresenta resultados satisfatórios.

De acordo com os mesmos autores, a radiação solar pode ser dividida em três gamas de comprimento de onda: a radiação UV, luz visível e radiação infravermelha, sendo que, a radiação UV não é visível ao olho nu, pois é altamente agressiva aos seres humanos, a fração mais alta da radiação denominada UV-A compreendida no comprimento de onda de 320nm-400nm alcança a superfície da terra, já as outras radiações UV-B e UV-C são retidas pela camada de ozônio.

A radiação ultravioleta pertence ao espectro eletromagnético (Tabela 1), e está situada na faixa de 40 a 400nm de comprimento de onda entre os raios x e luz visível (DANIEL, 2001).

Tabela 1 – Espectro eletromagnético (metros).

Raios Gama	Raios X	UV	Luz Visível	Infravermelho	Microondas	Ondas Radias
10 ⁻² (0,01nm)	10 ⁻¹⁰ (1 nm)	10 ⁻⁸ (40-400 nm)	10 ⁻⁶ (400-700 nm)	10 ⁻⁵ (1 mm)	10 ⁻² (1 cm)	10 ⁻³ (1 m)

Fonte: (DANIEL, 2001).

A luz UV-A tem um grande impacto em agentes patogênicos presentes na água, pois esses agentes não toleram condições ambientais agressivas como as encontradas no trato gastrointestinal humano, sendo sensível a luz solar encontrada no ambiente. A radiação UV-A interage com o ácido nucléico (DNA) e enzimas mudando a estrutura e causando a morte da célula e também reage com o oxigênio dissolvido na água e produz formas reativas de oxigênio, na qual interfere nas estruturas das células e matam os agentes patogênicos. A Tabela 2 mostra os microrganismos inativados pela radiação UV-A (MEIERHOFER; WEGELIN, 2002).

Tabela 2 – Microrganismos inativados pela radiação UV-A

Agente Patogênico	Microrganismos	Doença	Redução por SODIS após 6 horas de exposição
		Indicador da qualidade da água e enterites	
	<i>E.coli</i>		3 – 4log (99,9%)
Bactérias	<i>Vibrio colérico</i>	Cólera	3 – 4log
	<i>Salmonella ssp</i>	Tifo	3 – 4log
	<i>Shigela ssp</i>	Desintéria	3 – 4log
	Rotavírus	Diarréia	3 – 4log
Vírus	Vírus da Pólio	Pólio	Redução de casos em usuários do SODIS
	Vírus da hepatite	Hepatite	
Protozoário	<i>Giardia ssp</i>	Giardíase	3 – 4log
	<i>Cryptosporidium ssp</i>	Cryptosporidíase	(infecção por cistos)

Fonte: Meierhofer e Wegelin (2002).

A água numa temperatura de 30°C a uma fluência de 555W/m², correspondente a 6 horas de radiação solar, é exigido para alcançar uma redução de 3-log de coliformes fecais, assim com o aumento da temperatura da água e aumento da radiação UV-A a morte na taxa de coliformes fecais aumenta, sendo assim a água em um temperatura de 50°C requer uma fluência de 140W/m² equivalente a uma hora de exposição (MEIERHOFER; WEGELIN, 2002).

3.1.6.2 Concentrador Solar

Para uma maior eficiência no processo de desinfecção através da radiação UV-A, o Instituto Mexicano de Tecnologia de Água – IMTA (HERRERA, 2003), propõe um concentrador solar, construído com material simples, com chapas de aço ou placas de madeira revestida com papel alumínio com capacidade para desinfecção de 3 garrafas simultaneamente, conforme mostra a Figura 3.

Como o concentrador é destinado a regiões em desenvolvimento, os materiais utilizados no concentrador devem ter baixo custo, sendo assim utilizados garrafas de plástico tipo PET (politereftalato de etileno). Algumas vantagens da PET: são mais leves, transparentes, não arranham, não deixa gosto e quimicamente estável; já as desvantagens do PET: sua resistência é limitada ao aquecimento (deformação acima de 65°C) e arranhões e outros efeitos das intempéries (MEIERHOFER; WEGELIN, 2002).

Figura 3 – Modelo de Concentrador Solar proposto pelo IMTA



Fonte: Silva (2004).

De acordo com o mesmo autor, quando a garrafa PET é pintada de preto no sentido de sua seção horizontal e disposta com esta parte pintada voltada para baixo em uma peça de aço corrugada, cria-se um gradiente de temperatura, causando um movimento circulatório da água, aumentando assim a eficiência do processo.

Estudos realizados por Deganutti, Lima e Vieira (2014), mostra a eficiência do sistema SODIS para tratamento de água, na cidade de Londrina, onde o sistema é composto com matérias recicláveis de baixo custo, na qual recebeu uma incidência solar média de 400Wm^{-2} , na qual obteve uma variação de temperatura de 70°C , sendo o projeto capaz de realizar o tratamento biológico com a utilização do modelo, e com a utilização de matérias de baixo custo, atingindo uma alta eficiência no tratamento.

Segundo este mesmo autor, a incidência solar em Londrina no período das 11 horas às 14 horas possui uma incidência solar entre 400W/m^2 no inverno e 650W/m^2 no verão.

3.2 Legislação

De acordo com a legislação brasileira, a Portaria nº5, de 28 de setembro de 2017, Capítulo V, seção II (BRASIL, 2017), diz a respeito do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O artigo 129, anexo XX, dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade de água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, como mostra a Tabela 3. O artigo 27 diz que a água potável deve estar em conformidade com padrão microbiológico, conforme disposto no anexo 1 do anexo XX.

A água para consumo humano em conformidade quanto ao padrão microbiológico deverá utilizar como parâmetro de qualidade sanitária o *E.coli* ou os coliformes termotolerantes, na qual o valor máximo exigido para os dois casos é ausência em 100mL, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Padrões de potabilidade Portaria de Consolidação nº5/2017 Ministério da Saúde

Parâmetro	Unidade	Máximo permitido
pH	-	6,0 a 9,5
Turbidez	NTU	0,5
Cor aparente	mgPtCo L ⁻¹	15
Sólidos dissolvidos totais	mg.L ⁻¹	1000
Coliformes totais	VMP	Ausência
Escherichia coli	VMP	Ausência

Fonte: BRASIL (2017).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta da amostra

A água utilizada no experimento foi coletada no Ribeirão Três Bocas, localizado na região Sul da cidade de Londrina ao Norte do Estado do Paraná, nas seguintes coordenadas: latitude -23,410381 e longitude -51,137299 como mostra a Figura 4. A coleta foi realizada às margens do Ribeirão Três Bocas, em três galões de 25 litros, totalizando o volume de 75 litros de água.

Figura 4 – Localização do Ribeirão Três Bocas (indicado por seta)



Fonte: Google Maps (2019).

4.2 Local do ensaio

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Recursos Hídricos (Figura 5) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, na qual localiza-se na região Leste da cidade de Londrina nas seguintes coordenadas: latitude -23,307401 e -51,114240 de longitude.

Figura 5 – Laboratório de Recursos Hídricos da UTFPR



Fonte: Autoria própria (2019).

O local onde o concentrador solar ficou exposto situa-se ao lado do bloco S, como demonstra na Figura 6. Neste local a radiação solar incide diretamente no concentrador, não sendo afetado por sombreamento de construções e árvores a fim de não afetar a eficiência do sistema.

Figura 6 – Local de instalação do concentrador solar (representado por seta)



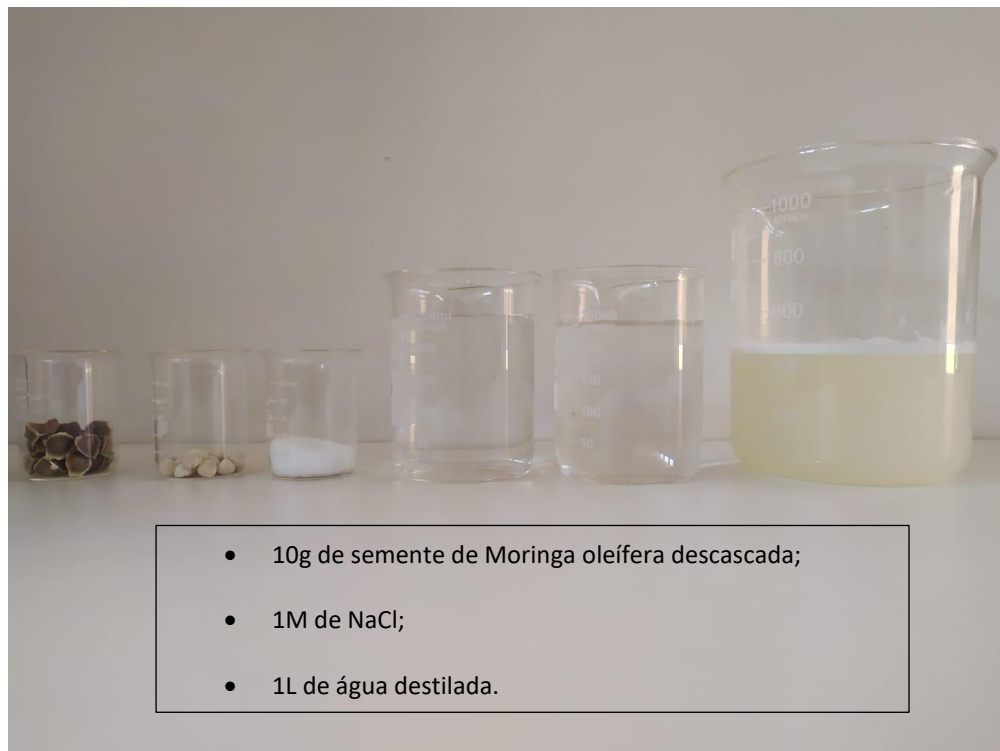
Fonte: Autoria própria (2019).

4.3 Preparo da Solução Coagulante

A Segundo Janz et al. (2018), para o preparo da solução coagulante retirada da semente de *Moringa oleifera*, foi utilizado uma solução salina de concentração de 1M de NaCl para a extração do princípio ativo e 10g da semente descascada.

Primeiramente foi realizada a preparação de 1M de Cloreto de Sódio (NaCl) em um recipiente, onde foi diluído 58,5g de NaCl em 1 litro de água destilada, após a diluição acrescentou-se 10g de semente de *Moringa oleifera* descascada na qual logo em seguida foi triturada com o auxílio do liquidificador. Logo em seguida, com o auxílio de um coador de pano foi realizado a filtração da solução coagulante para a remoção de partículas grosseiras. A Figura 7 mostra os principais ingredientes para o preparo da solução coagulante, juntamente com a solução coagulante pronta.

Figura 7 – Ingredientes para o preparo da solução e a solução pronta



Fonte: Autoria própria (2019).

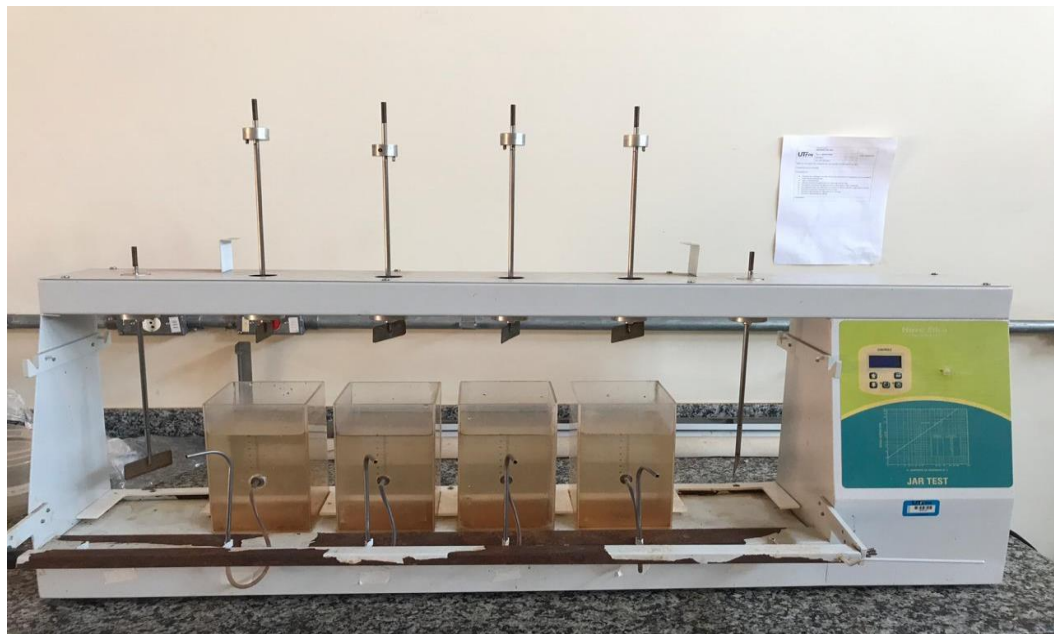
4.4 Pré-ensaio

Para a definição da concentração ideal de coagulantes a ser utilizado foram realizados pré ensaios. Para isso foi colocado uma quantidade da água coletada em um béquer de 100mL, sendo logo em seguida adicionada três concentrações diferentes de solução coagulante sendo elas de 1mgL^{-1} , 2mgL^{-1} e 3mgL^{-1} . Após agitação, foi necessário aguardar por alguns minutos a ocorrência do processo de coagulação/floculação. Logo após o processo foi detectado visualmente que a concentração de 2mgL^{-1} apresentou um melhor grau de coagulação, ficando assim definida como a dosagem de coagulante ideal para o ensaio.

4.5 Ensaio Laboratorial

Para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foi utilizado o equipamento Jar test (Figura 8), da marca Nova Ética, modelo 218/06, com capacidade para 6 jarros com um volume de 2 litros cada. Nestes ensaios, foram utilizados 4 jarros do equipamento devido ao volume utilizado nos ensaios.

Figura 8 – Aparelho de Jar-test, utilizado no ensaio



Fonte: Autoria própria (2019).

Ao todo foram realizados 3 ensaios, na qual cada ensaio realizado em dias diferentes, os ensaios foram realizados em duplicata, totalizando 30 amostragens, 10 para cada ensaio.

Os ensaios foram realizados da seguinte maneira: os quatro jarros foram preenchidos com 2 litros de água e o equipamento foi ligado a fim de homogeneizar as amostras. Logo em seguida foram acrescentadas a concentração de 2mgL^{-1} de solução coagulante de *Moringa oleifera*, previamente estipulada no pré-ensaio.

De acordo com adaptações de THEODORO (2012), as amostras foram submetidas a uma agitação rápida, simulando o processo de coagulação com duração de 3 minutos a uma rotação de 150 rpm; logo após o equipamento foi programado para realizar uma agitação lenta, com duração de 10 minutos a uma rotação de 15 rpm, simulando o processo de floculação e por fim, o equipamento foi desligado a fim de que ocorresse o processo de sedimentação.

Após 30 minutos do processo de sedimentação, foi realizada a filtração (Figura 9), onde utilizou-se 4 filtros iguais, montados através de garrafas PET com dimensões de 10 centímetros de diâmetro interno e volume de 2 litros, estando amparado em uma estrutura metálica posicionada abaixo do equipamento Jar Test, facilitando assim o fluxo das amostras do equipamento aos filtros.

Figura 9 – Filtração após a sedimentação

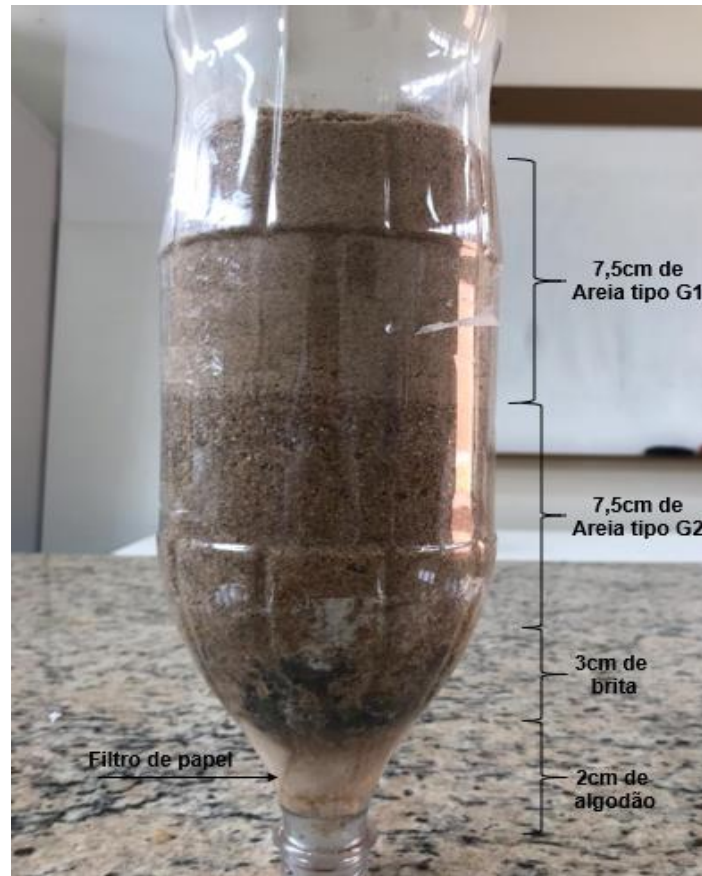


Fonte: Autoria própria (2019).

Para a construção dos filtros de areia, o meio filtrante foi dividido em duas camadas de granulometria diferentes, sendo a primeira granulometria de 0 a 0,425mm, e a segunda logo em seguida com a granulométrica de 0,425 a 0,850mm, na qual cada uma ocupou uma altura de 7,5 cm (adaptado de DI BERNARDO et al., 2003).

Após a camada de areia, o filtro foi preenchido com 3 cm de brita, 2 cm de algodão e por fim um filtro de café em contato com o algodão na extremidade inferior, como mostra a Figura 10. Durante a construção do filtro, foi adicionada juntamente com a areia a água destilada, com o objetivo de padronizar a compactação e evitar a formação de vazios.

Figura 10 – Filtro montados com areia em duas granulometrias



Fonte: Autoria própria (2019).

Por fim, a água coletada na saída dos filtros foi adicionada em garrafas plásticas tipo PET no volume de 1L, na qual foram em seguida submetidas ao efeito do SODIS no concentrador.

4.6 Concentrador solar

O concentrador solar que foi utilizado na elaboração desse estudo foi construído com base nas indicações do IMTA (HERRERA, 2003). Na concepção do sistema foram utilizados materiais como madeiras, papel alumínio e garrafas plásticas tipo PET, com volume de 1L, sendo estes materiais de baixo custo conforme recomendação. Na Figura 11 mostra a etapa inicial da construção do concentrador solar.

Figura 11 – Construção do concentrador solar



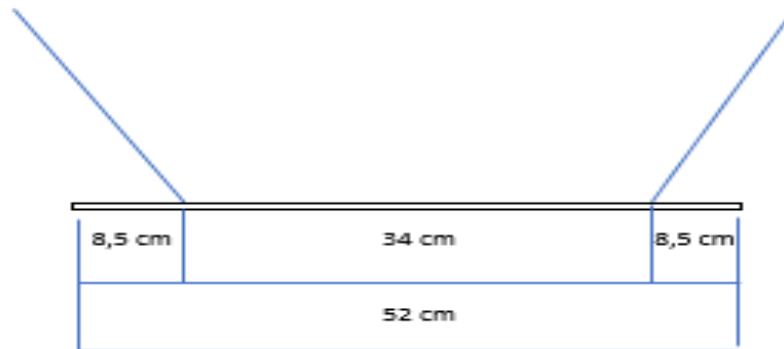
Fonte: Autoria própria (2019).

Foram construídos dois concentradores solares C1 e C2, com algumas modificações no seu dimensionamento adaptado de Silva (2004). As dimensões do concentrador solar foram adaptadas para melhor acondicionamento das 4 garrafas plásticas de 1L, com diâmetro de 8,5cm e para isso foram construídos com as seguintes dimensões:

- Área da base: 52cm X 48cm (2 unidades);
- Aleta maior: 34cm x 35 cm (4 unidades);
- Aleta menor: 30cm x 35cm (4 unidades);
- Suporte triangular para as aletas: 15cm x 8,5cm (16 unidades).

A Figura 12 mostra o croqui do concentrador solar com as dimensões do comprimento da base, com o posicionamento das aletas e os suportes triangulares.

Figura 12 – Croqui do concentrador solar com vista frontal



Fonte: Autoria própria (2019).

As 4 garrafas que foram utilizadas no concentrador foram do tipo PET, incolores, com um pequeno furo na parte frontal para medição da temperatura, sendo que 3 dessas garrafas foram pintadas com tinta esmalte na cor preto fosco e uma garrafa sem pintura para devidas comparações no processo de desinfecção como mostra a Figura 13. Dessa forma, os tratamentos se deram da seguinte forma:

- G1 – Garrafa 100% pintada de preto;
- G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima;
- G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo;
- G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

Figura 13 – Garrafas tipo PET utilizadas no concentrador solar.



Fonte: Autoria própria (2019).

Logo após a adição da água nas garrafas após passagem pelos processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração, estas foram brevemente agitadas e acondicionadas no concentrador solar, como mostra a Figura 14 na qual foi disposto na posição Norte com uma inclinação de 22°. Segundo Gonzales et al. (2007) para uma maior eficiência de captação de raios solares o concentrador também pode ser inclinado de acordo com a latitude do local, no caso o concentrador foi inclinado a uma angulação aproximada de 22°, de acordo com a cidade de Londrina onde sua latitude corresponde a 23° 17' 34" Sul. Este também deve ser recoberto por papel alumínio para intensificar a ação dos raios solares.

Figura 14 – Garrafas expostas a radiação no concentrador solar



Fonte: Autoria própria (2019).

A temperatura foi monitorada de 15 em 15 minutos durante 4 horas, com início às 10 horas da manhã e término às 14 horas, período em que a incidência da radiação é maior. Para a leitura da temperatura foi utilizado termômetro espeto e para a temperatura ambiente foi utilizada a estação meteorológica presente no campus. Segundo o estudo de Paterniani e Silva (2005), a eficiência de remoção de coliformes totais e a inativação de *E. Coli* nas garrafas que utilizaram o concentrador foi de 100% com 4 horas de exposição, alcançando temperaturas de 70° em dias de céu aberto, concluindo assim uma alta eficiência do SODIS no tempo de exposição de 4 horas. Após as 4 horas de

exposição ao sol, as garrafas foram retiradas do concentrador e levadas ao laboratório para a realização das análises dos parâmetros.

4.7 Parâmetros analisados

Para o estudo, foram analisados os parâmetros de pH, turbidez, temperatura, condutividade elétrica, cor verdadeira e cor aparente, na qual para as análises foram seguidas a metodologia conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Tabela 4 – Parâmetros, metodologias e equipamentos utilizados

Parâmetros	Metodologia	Equipamentos
pH	4500 H - B	Multiparâmetros Hanna hi 9811-5
Turbidez	2130 - B	Turbidímetro AP 2000 - Policontrol
Temperatura	2550 - B	Multiparâmetros Hanna hi 9811-5
Condutividade elétrica	2510 - B	Multiparâmetros Hanna hi 9811-5
Cor aparente	2120 - C	Espectrofotômetro DR 5000 - HACH
Cor verdadeira	2120 - B	Espectrofotômetro DR 5000 - HACH

Fonte: APHA (2012).

Já para os parâmetros de coliformes totais e *E. coli* foram seguidas a metodologia de Collilert, na qual utilizou o sistema Quanti-Tray/2000, que fornece métodos de quantificação semiautomatizados com base no modelo Número Mais Provável por 100mL. Na Tabela 4 estão relacionados os parâmetros com as metodologias e equipamentos utilizados.

As análises microbiológicas, para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* foram avaliadas segundo o método Colilert, o qual determina a presença ou ausência e sua quantidade.

Estas análises foram avaliadas logo após a desinfecção pelo sistema SODIS, na qual as amostras de água foram coletadas respectivamente de cada garrafa PET utilizadas no concentrador, sendo estas coletadas em bolsas plásticas estéreis com volume de 100 mL.

Em seguida, foram coletadas as amostras de água e armazenadas em baixa temperatura para o transporte até o local de análise. As amostras com o meio de cultura foram transferidas para as placas e identificadas, onde cada placa foi selada pelo equipamento Quanti-Tray Sealer Modelo 2X da marca Idexx, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Seladora Quanti -Tray Sealer Modelo 2x com a placa ao lado



Fonte: SILVA (2017).

Após este processo as placas foram armazenadas na estufa a uma temperatura de 35°C por um período de 24 horas para a quantificação dos microrganismos, sendo que para a contagem dos coliformes totais, contou-se a quantidade de quadrados grandes (49) e pequenos (48) presentes nas cartelas, considerando microrganismos presentes aqueles que apresenta coloração amarelada, já para a contagem de *Escherichia coli*, utilizou uma câmara escura com lâmpada UV, como mostra a Figura 16, considerando presentes aqueles que apresentaram luminescência azul nas placas tanto para quadrados grandes como para pequenos.

Figura 16 - Câmara escura com luz UV para contagem de *E. coli*



Fonte: SILVA (2017).

Ao todo foram 5 análises microbiológicas, uma coletada logo após esterilização da saída dos filtros e as outras 4 coletadas de cada garrafa PET utilizada no concentrador, sendo assim totalizando 15 análises microbiológicas no experimento todo.

Para as análises microbiológicas não foram realizadas análise de desinfecção em duplicata, pois o número de placas disponível era reduzido, impedindo assim de realizar com o outro concentrador.

4.8 Análise Estatística

O experimento foi realizado em duplicata pelas médias de C1 e C2 de cada parâmetros dos ensaios 1 e 3, e os resultados obtidos através dos ensaios foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA), fator único, com auxílio do programa Past.

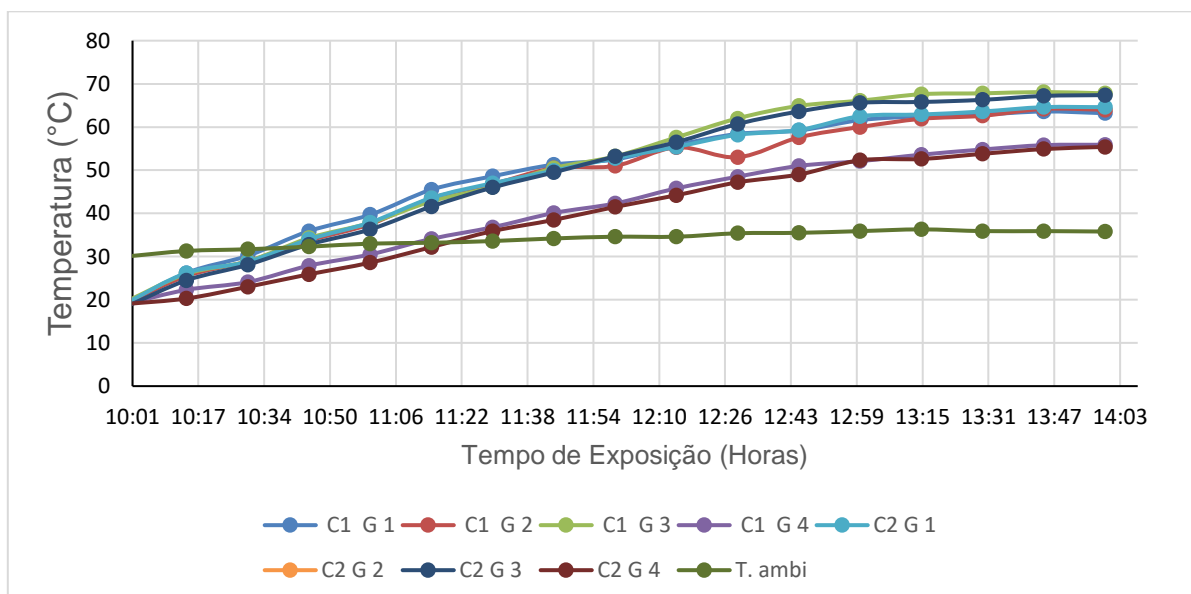
Os resultados analisados estatisticamente não apresentaram diferenças significativas para aplicação do teste de Tukey, sendo este utilizado para identificar quais tratamentos possuem diferenças entre si, ou seja, qual apresenta valor – p menor que 0,05.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Variação de Temperatura nos Concentradores

O ensaio 1 foi realizado no dia 16/09/19, onde a condição meteorológica presente no dia foi de sol, sem cobertura de nuvens, com uma temperatura máxima ambiente de 35,8°C. O Gráfico 1 representa a variação da temperatura ambiente com as temperaturas coletadas nos tratamentos.

Gráfico 1 – Variação de temperatura ambiente e dos tratamentos no ensaio 1

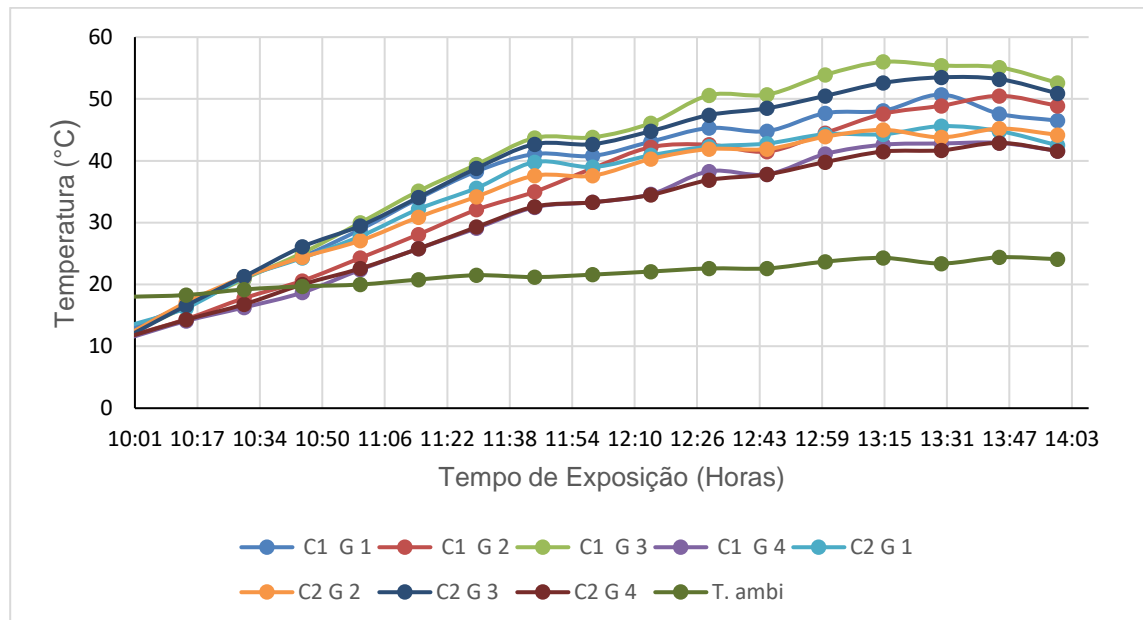


(C1 G1) Concentrador 1 e tratamento 1; (C1 G2) Concentrador 1 e tratamento 2; (C1 G3) Concentrador 1 e tratamento 3; (C1 G4) Concentrador 1 e tratamento 4; (C2 G1) Concentrador 2 e tratamento 1; (C2 G2) Concentrador 2 e tratamento 2; (C2 G3) Concentrador 2 e tratamento 3; (C2 G4) Concentrador 2 e tratamento 4.

Fonte: Autoria própria (2019).

O ensaio 2 ocorreu no dia 23/09/19, com condição meteorológica presente no dia do experimento de sol com grande cobertura de nuvens durante o ensaio, a temperatura ambiente média monitorado no dia do ensaio foi 21,61°C. O Gráfico 2, mostra a variação de temperatura no ensaio 2.

Gráfico 2 – Variação de temperatura ambiente e das garrafas no ensaio 2

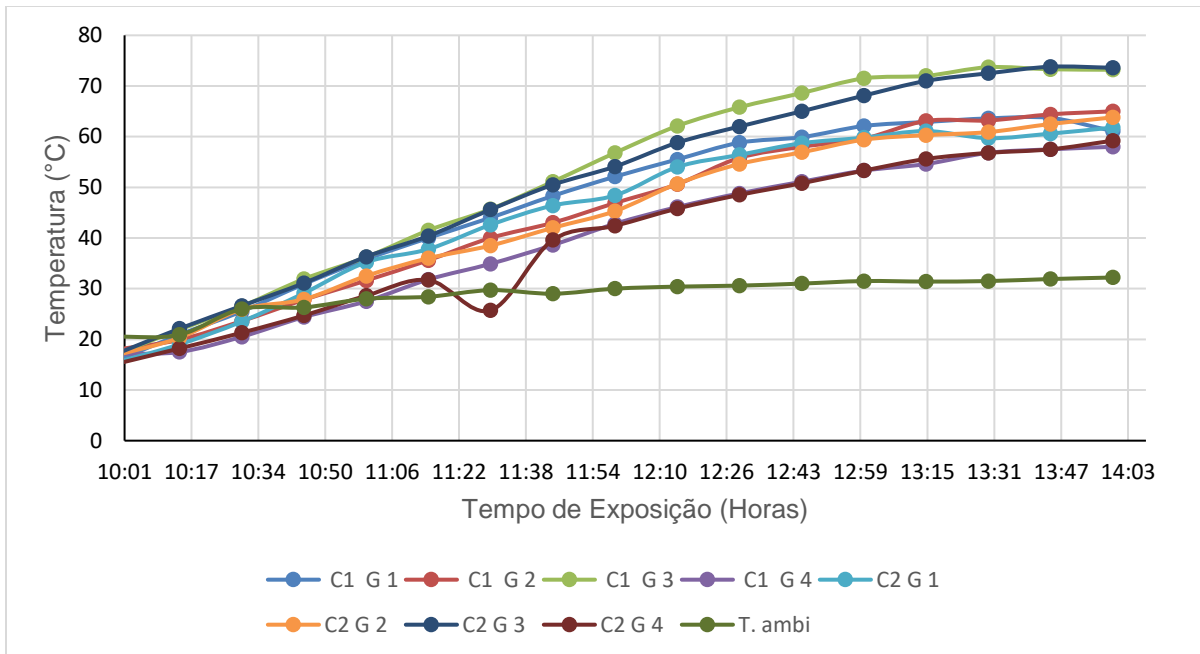


(C1 G1) Concentrador 1 e tratamento 1; (C1 G2) Concentrador 1 e tratamento 2; (C1 G3) Concentrador 1 e tratamento 3; (C1 G4) Concentrador 1 e tratamento 4; (C2 G1) Concentrador 2 e tratamento 1; (C2 G2) Concentrador 2 e tratamento 2; (C2 G3) Concentrador 2 e tratamento 3; (C2 G4) Concentrador 2 e tratamento 4.

Fonte: Autoria própria (2019).

Por fim, o último ensaio aconteceu no dia 04/10/19, com condição meteorológica no dia do experimento de sol, sem nuvens, com uma temperatura ambiente média de 28,78°C. Com esse monitoramento foi possível construir o Gráfico 3, mostrando a variação de temperatura no ensaio das garrafas nos concentradores e ambientes no ensaio 3.

Gráfico 3 – Variação de temperatura ambiente e das garrafas nos concentradores no ensaio 3



(C1 G1) Concentrador 1 e tratamento 1; (C1 G2) Concentrador 1 e tratamento 2; (C1 G3) Concentrador 1 e tratamento 3; (C1 G4) Concentrador 1 e tratamento 4; (C2 G1) Concentrador 2 e tratamento 1; (C2 G2) Concentrador 2 e tratamento 2; (C2 G3) Concentrador 2 e tratamento 3; (C2 G4) Concentrador 2 e tratamento 4.

Fonte: Autoria própria (2019).

Através desde gráficos, observa-se que o papel do concentrador solar foi de extrema importância para o experimento, os gráficos mostram que a temperatura das garrafas no concentrador aumentou consideravelmente em relação a temperatura ambiente.

Para os ensaios 1 e 3 o aumento de temperatura foi maior, ultrapassando 60°C, em comparação ao ensaio 2 onde a temperatura não ultrapassou os 50°C, devido as condições meteorológicas que impossibilitou a esse aumento de temperatura. Sendo assim pode-se afirmar que em dias de sol a temperatura das amostras são maiores, aumentando a eficiência do tratamento em comparado com os dias nublados, na qual eficiência do tratamento diminui.

Os gráficos também podem mostrar que as garrafas do tratamento G3 tanto do concentrador 1 como do 2 obtiveram um maior aquecimento em relação aos outros tratamentos, isso pode ser explicado devido ao fato da garrafa ser pintada de preto pela metade no sentido de sua seção horizontal e disposta com a parte pintada voltada para

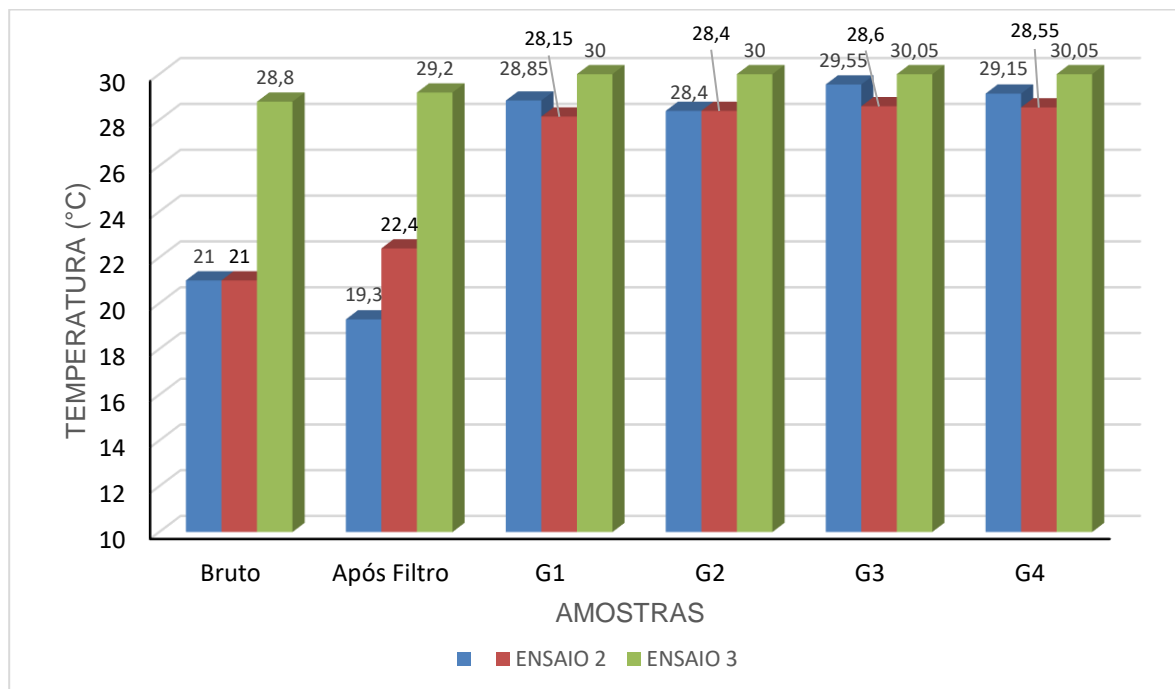
baixo em contato com a parte de alumínio criando um gradiente de temperatura, sendo assim causa um movimento circulatório da água, aumentado assim a sua temperatura (MEIERHOFER; WEGELIN, 2002).

Para as garrafas do tratamento G1 e G2 apresentaram temperaturas maiores em comparação ao tratamento G4, devido ao fato das garrafas terem sido pintadas, sendo G1 totalmente pintada e G2 metade pintada de preto voltada para cima. A G4 em comparação aos outros tratamentos, apresentou um menor desempenho em relação a eficiência de temperatura devido ao fato de não apresentar pintura.

5.2 Temperatura

O Gráfico 4, mostra a variação de temperatura média de C1 e C2 das amostras durante todo o processo de tratamento da água para os ensaios.

Gráfico 4 – Variação de temperatura média (°C) das amostras após a exposição solar



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

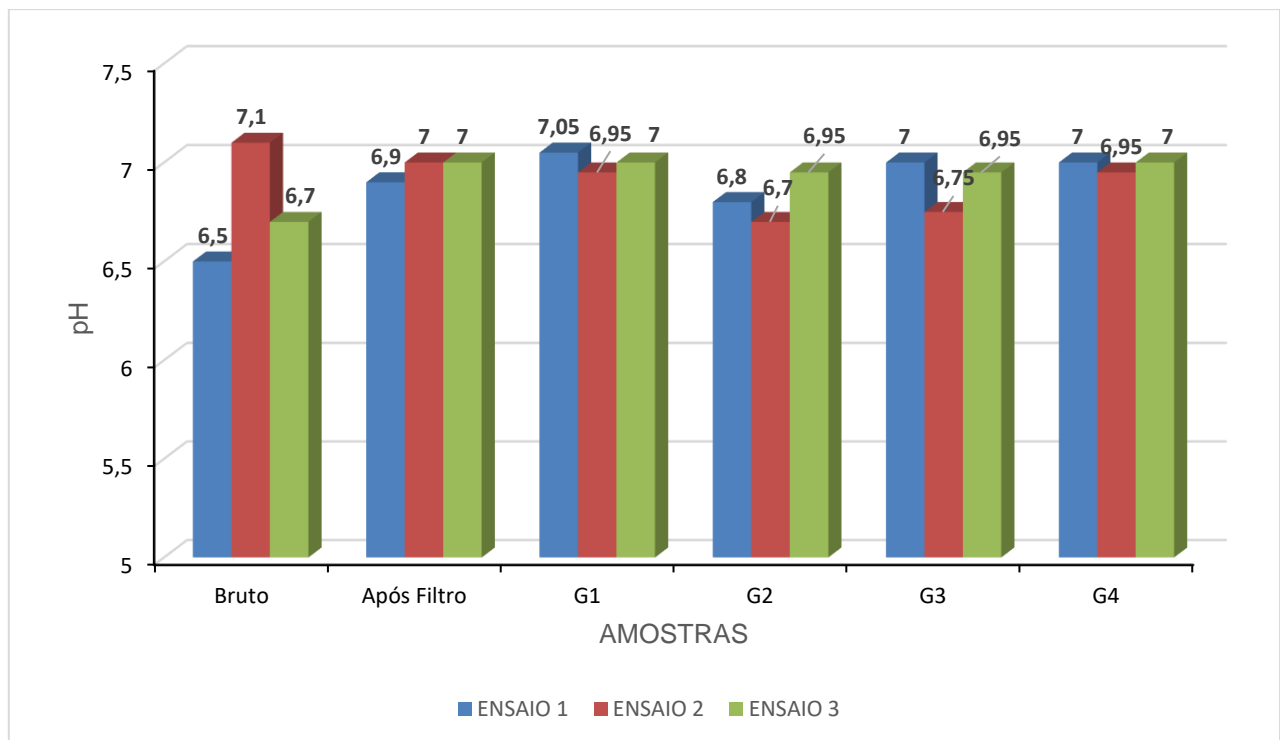
Fonte: Autoria própria (2019).

Através da análise dos dados, verifica-se que para os tratamentos G1, G2, G3 e G4 houve um aumento da temperatura em todos os ensaios em comparação com a amostra do bruto e do filtro sendo esse aumento em razão da ação da radiação solar. Já entre os tratamentos no SODIS observa-se que não houve uma diferença brusca nos valores, onde as temperaturas mantiveram em uma média de 29°C.

5.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Observando os valores médios de C1 e C2 de pH, presentes nas amostras de cada ensaio, foi possível construir o Gráfico 5 mostrando a variação do pH em todo o processo de tratamento da água.

Gráfico 5 – Variação média de pH das amostras antes e após a exposição solar



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta

Fonte: Autoria própria (2019).

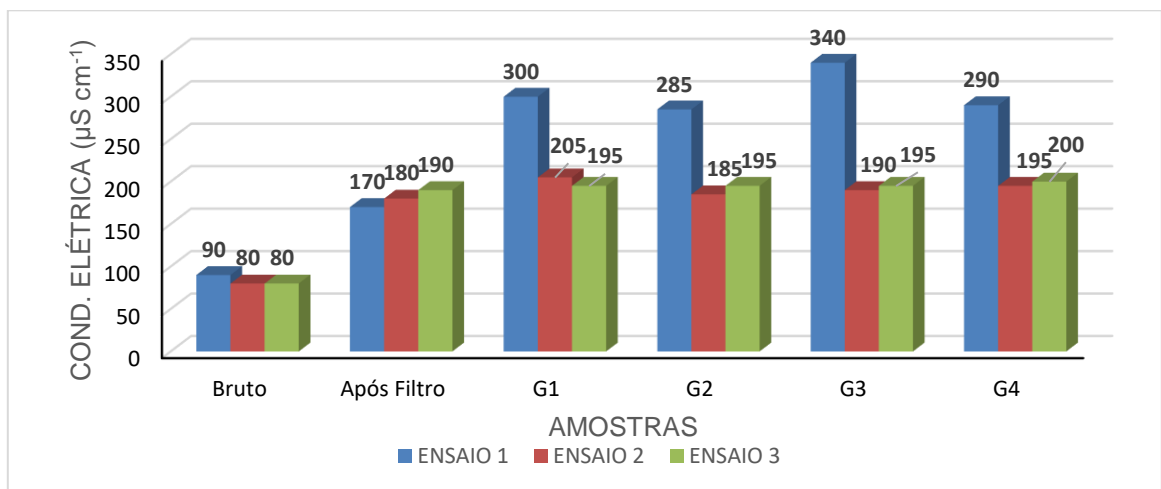
Por meio dos resultados, verifica que houve uma leve variação do pH em todos os ensaios nos 4 tipos de tratamentos (G1, G2, G3 e G4), porém de forma não representativa, onde a variação ficou entre 6,5 a 7.

Estudos de Henriques et al. (2012) e Paterniani (2009), comprovam que o pH tanto na água bruta como na água após o tratamento com a *Moringa oleifera* não ocorreu uma diferença significativa entre a água antes e após o tratamento, havendo apenas uma suave elevação nos valores, sendo justificado pela influência do polímero catiônico presentes na semente de *Moringa oleifera*, corroborando com os resultados aqui apresentados. Segundo a Portaria da Consolidação nº5 de 2017, o valor do pH deve estar compreendido entre o valor de 6,0 a 9,5, sendo assim os resultados obtidos estão dentro do padrão exigido.

5.4 Condutividade Elétrica

Através dos resultados obtidos, pode-se construir o Gráfico 6, na qual mostra a variação média de C1 e C2 de condutividade elétrica das amostras durante todo processo de tratamento da água para todos os ensaios.

Gráfico 6 – Variação da média da Condutividade Elétrica (μScm^{-1}) das amostras antes e após a exposição solar



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

Fonte: Autoria própria (2019).

Através dos resultados obtidos, pode-se observar no Gráfico 6 que os valores de condutividade elétrica aumentaram em relação ao bruto de todos os ensaios. Essa variação mostra que após o emprego da *Moringa oleifera* como coagulante o valor da condutividade elétrica aumentou, devido ao fato da produção da solução coagulante de *Moringa oleifera* conter sal (NaCl) em sua composição, tendo a função de auxiliar na ativação da proteína contida na semente de *Moringa oleifera*, liberando espécies iônicas no tratamento e conseqüentemente aumentando os valores de condutividade elétrica (HENRIQUES et al; 2014).

Em comparação aos tratamentos com o SODIS (G1, G2, G3 e G4) de cada ensaio, não houve uma significativa variação nos valores, mas houve variação entre os ensaios, onde o ensaio 1 apresentou valores maiores de condutividade elétrica quando comparado aos outros ensaios 2 e 3, esse aumento pode ter ocorrido devido a não lavagem suficientes dos filtros antes da filtração, ocasionando assim um aumento da condutividade elétrica nas amostras dos tratamentos. De acordo com a Portaria da Consolidação nº5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), não há um valor máximo e/ou mínimo de condutividade elétrica.

5.5 Cor Aparente

Através dos resultados obtidos de cor aparente na Tabela 5, observa-se o valor médio de após o filtro e de todas as amostras a partir do bruto de cada ensaio.

Tabela 5 – Valores da cor aparente das amostras (mg PtCo.L-1)

Amostras	Bruto	Após Filtro	G1	G2	G3	G4
Ensaio 1	87	10	4	2,5	5	5
Ensaio 2	90	6	5,5	5	2,5	5,5
Ensaio 3	41	5	4,5	2	0,5	1

Fonte: Autoria própria (2019).

Com os dados tabelados, foi possível analisar a eficiência de remoção da cor aparente, podendo ser calculada através da Equação 1.

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

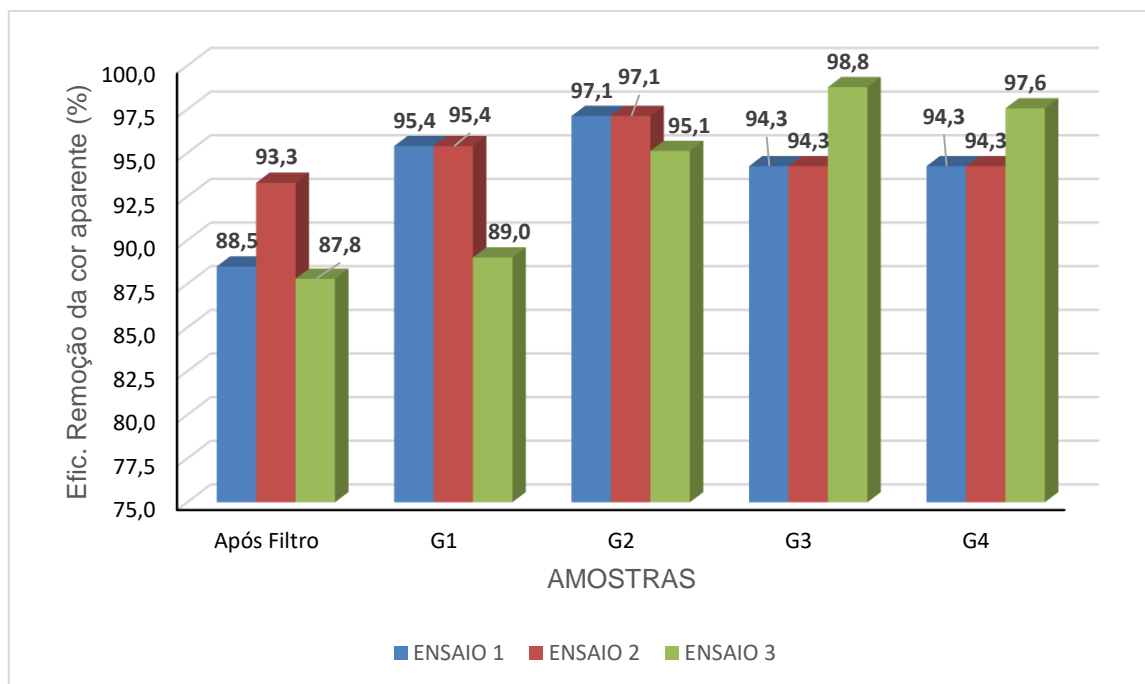
Onde: E = eficiência de remoção

B = amostra bruta

M = média das leituras dos parâmetros

Com os valores de eficiência de remoção da cor aparente calculados de cada ensaio, foi possível a construção do Gráfico 7.

Gráfico 7 – Eficiência de Remoção da cor aparente (%)



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

Fonte: Autoria própria (2019).

Através dos dados obtidos, verifica-se uma eficiência de remoção da cor aparente com resultados acima de 88% de remoção após o filtro, aumentando a eficiência nos tratamentos após a exposição ao sol, com valores variando de 89 a 95,4% (G1), 95 a 97% (G2) e 94 a 98% (G3 e G4), respectivamente. Isso mostra a melhoria da qualidade

da água no quesito cor aparente com a ação da radiação solar, com destaque para o tratamento 2 que apresentou as melhores condições.

Esse aumento de eficiência pode ser decorrente devido ao fato de as partículas, como matéria orgânica e inorgânica, relacionadas a cor terem decantado após 4 horas de exposição ao sol. Como todos os tratamentos no SODIS tiveram uma considerável variação da eficiência de remoção de cor aparente, pode-se dizer que todos os tratamentos foram satisfatórios.

A Portaria da Consolidação nº5 (BRASIL, 2017), define 15 uH como valor máximo permitido de cor aparente, podendo-se dizer que as amostras de água após a filtração e com a utilização do concentrador solar atendem a legislação, pois os valores foram abaixo de 15 uH.

5.6 Cor Verdadeira

A Tabela 6 mostra os valores médios de cor verdadeira das amostras após do filtro e dos tratamentos dos três ensaios realizados, comparados com o valor bruto.

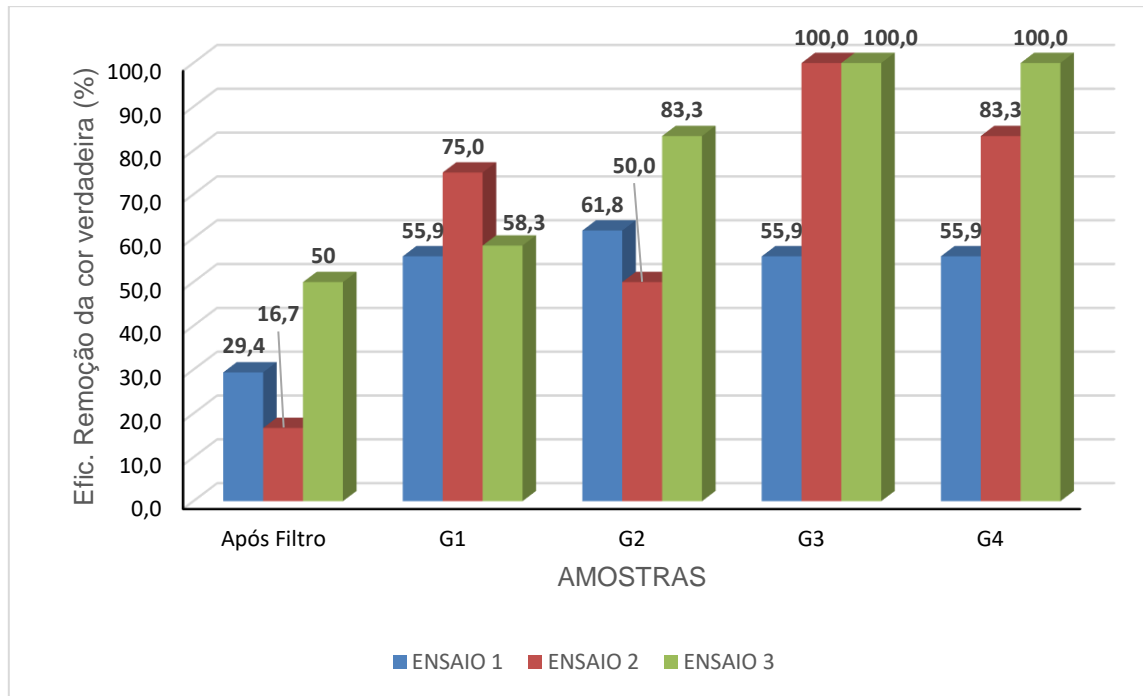
Tabela 6 – Valores da cor verdadeira das amostras (mg PtCo.L-1).

Amostras	Bruto	Após Filtro	G1	G2	G3	G4
Ensaio 1	17	12	7,5	6,5	7,5	7,5
Ensaio 2	6	5	1,5	3	0	1
Ensaio 3	6	3	2,5	1	0	0

Fonte: Autoria própria (2019).

Por meio desses resultados, pode-se calcular a eficiência de remoção de cor verdadeira com o auxílio da Equação 1, a partir do bruto com auxílio da Tabela 9, podendo assim construir o Gráfico 8.

Gráfico 8 – Eficiência de Remoção da cor verdadeira (%)



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

Fonte: Autoria própria (2019).

Após a filtração a eficiência de remoção de cor verdadeira aumentou variando de 50 a 100% para os ensaios 1, 2 e 3 entre os tratamentos respectivamente, demonstrando uma boa eficiência. A eficiência chegou a 100% de remoção de cor verdadeira para G3 e G4, sendo os melhores resultados encontrados. mostrando que o sistema SODIS apresentou um resultado satisfatório na remoção da cor. Segundo a Portaria da Consolidação N°5 (BRASIL, 2017), não apresenta valores máximos e/ou mínimos para a cor verdadeira, sendo assim os valores estando em condições para o consumo humano.

5.7 Turbidez

Com os resultados obtidos de turbidez, pode-se calcular a média após o filtro e dos tratamentos de cada ensaio, com isso foi possível a construção da Tabela 7.

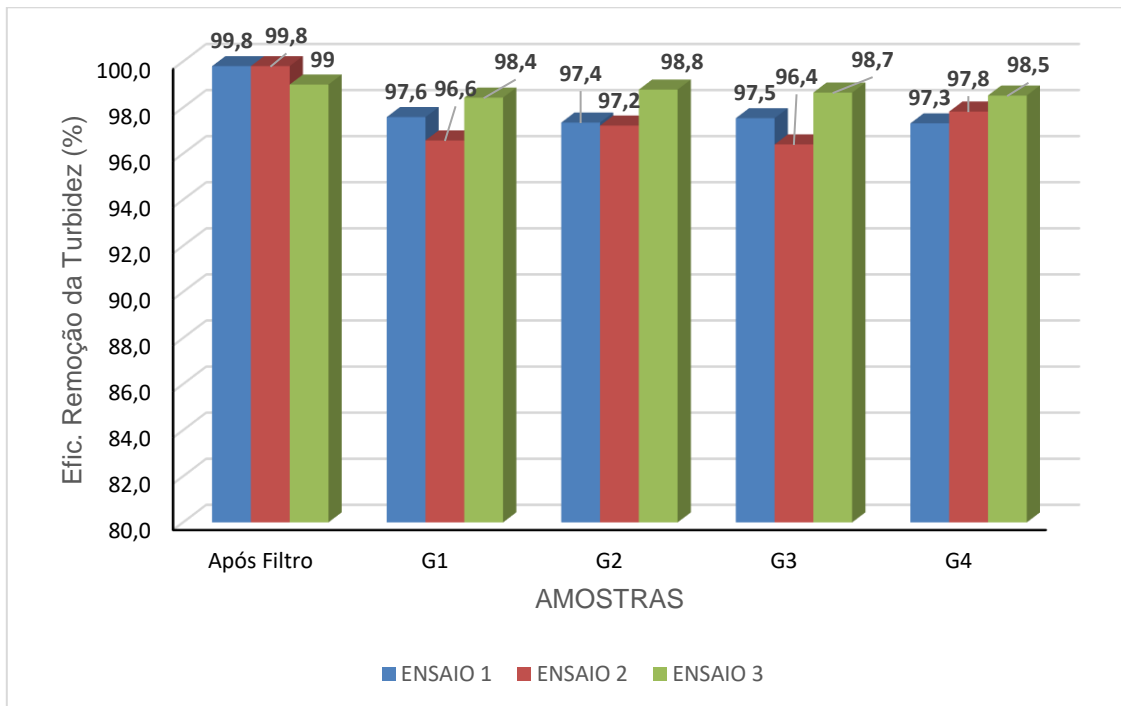
Tabela 7 – Valores de turbidez das amostras em (NTU)

Amostras	Bruto	Após Filtro	G1	G2	G3	G4
Ensaio 1	42,3	0,1	1,0	1,1	1,0	1,1
Ensaio 2	40,3	0,1	1,4	1,1	1,5	0,9
Ensaio 3	54,2	0,5	0,9	0,7	0,7	0,8

Fonte: Autoria própria (2019).

Com esses dados tabelados, pode-se assim calcular a eficiência de remoção da turbidez com auxílio da Equação 1, a partir do bruto e construir o Gráfico 9.

Gráfico 9 – Eficiência de Remoção da turbidez (%)



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise gráfica, os tratamentos foram eficientes, alcançando uma eficiência de remoção de acima de 96% em todos os ensaios após o filtro. Todos os tratamentos foram satisfatórios, não ocorrendo nenhuma variação brusca nos valores encontrados, tendo sua variação entre 96,6 a 98,8% de eficiência.

Segundo Di Bernardo (2003), os valores de remoção de turbidez encontrados em seus estudos foram acima de 82% para serem considerados satisfatórios, sendo assim, todos os resultados obtidos corroboraram com tal autor. De acordo com a Portaria da Consolidação N°5 (BRASIL, 2017), o valor máximo permitido para turbidez é de 5 uT, sendo os valores encontrados de acordo com a legislação quando utilizados o sistema SODIS.

5.8 Coliformes

Com os resultados obtidos pela análise microbiológica, pode-se construir a Tabela 8. mostrando os valores dos resultados obtidos de Coliformes Totais e *E. coli* das amostras de cada ensaio.

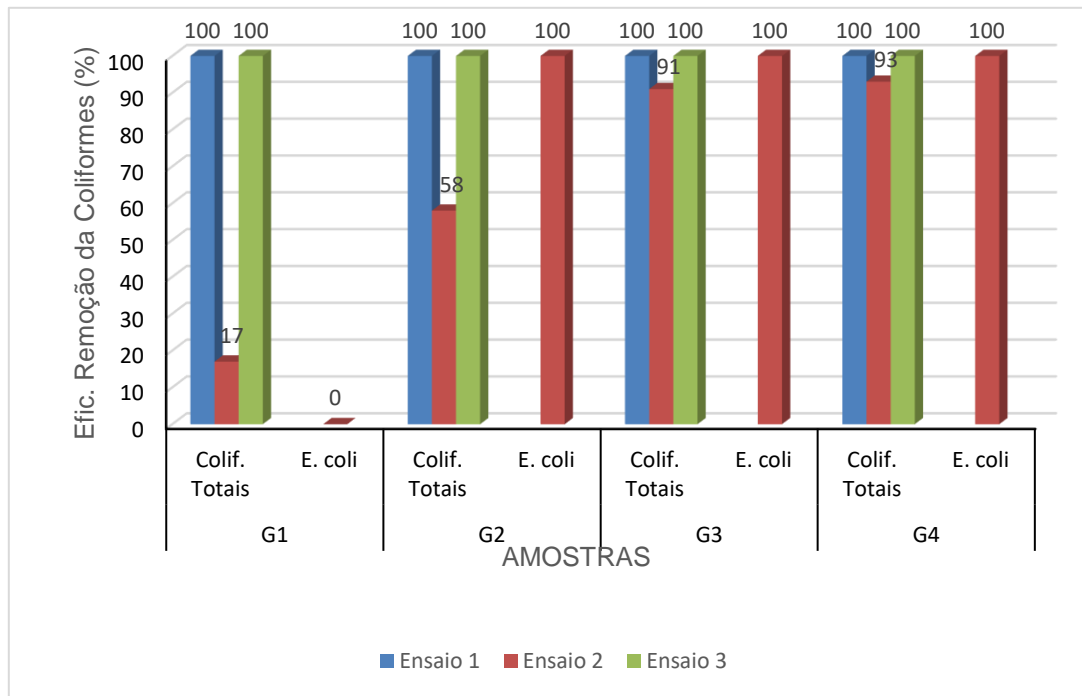
Tabela 8 – Valores de Coliformes totais e *E. coli* por (VMP) em cada ensaio

Amostras	Após Filtro	G1	G2	G3	G4	
Ensaio 1	Colif. Totais	20,9	0	0	0	0
	<i>E. coli</i>	0	0	0	0	0
Ensaio 2	Colif. Totais	166,4	137,4	70,3	15,1	10,9
	<i>E. coli</i>	1	1	0	0	0
Ensaio 3	Colif. Totais	2419,6	0	0	0	0
	<i>E. coli</i>	0	0	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2019).

Com os dados tabelados, foi possível a construção do Gráfico 10, mostrando a eficiência de remoção de Coliformes Totais a partir dos valores de coliformes do após o filtro para cada tratamento e ensaio.

Gráfico 10 – Eficiência de Remoção de Coliformes (%)



G1 – Garrafa 100% pintada de preto; G2 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para cima; G3 – Garrafa 50% pintada no sentido horizontal voltada para baixo; G4 – Garrafa sem aplicação de tinta.

Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise de dados, observa-se que nos ensaios 1 e 3 houve uma eficiência de remoção de 100% para Coliformes Totais quando comparado a amostras após o filtro, indicando ausência em 100 mL. Já para *E.coli*, não foi possível calcular a eficiência pois não apresentou indicador na amostra do após o filtro.

De acordo com a Portaria de Consolidação N°5 (BRASIL, 2017), para o consumo da população a água deve apresentar ausência em 100 mL de Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

Sendo assim o sistema SODIS para os ensaios 1 e 3 apresentaram um ótimo desempenho, pois devido a condição climática, os ensaios ocorreram em dias de céu sem coberturas de nuvens fazendo com que as temperaturas das garrafas fossem superior a 60°C, podendo assim atender a Portaria da Consolidação n°5 de 2017, indicando a ausência de coliformes em suas amostras.

Através das análises microbiológicas, os tratamentos no SODIS nos ensaios 1 e 3, não obtiveram diferença, ou seja, todos os tratamentos indicaram um bom

desempenho na desinfecção, a diferença está na temperatura em que a água alcançou nos tratamentos em que as garrafas eram pintadas com as que não foram pintadas.

Para o ensaio 2, houve uma remoção do número de Coliformes Totais de 17 a 93% de eficiência de remoção, e eliminação de 100% da *E. coli* nos tratamentos G2, G3 e G4 quando comparado após a filtração. O fato de não haver a eliminação dos Coliformes Totais foi o fato da temperatura das garrafas não apresentarem temperaturas superiores a 60°C, devido a condição climática do dia, estando o céu com cobertura de nuvens, afetando assim a incidência de radiação solar sobre as garrafas e consequentemente diminuindo a sua eficiência de remoção (SILVA, 2004).

Sendo assim o ensaio 2, não atendeu a Portaria da Consolidação nº5 de 2017, pois apresentou Coliformes Totais nos 4 tratamentos e *E. coli* apenas no tratamento 1

6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS

Por meio de todos os resultados obtidos de cada parâmetros e de cada ensaio, pode-se realizar a análise estatística de variância. Para os ensaios 1 e 3, foi possível realizar uma única análise estatística por parâmetro, visando a análise de significância em relação aos tratamentos, visto que os ensaios ocorrem na mesma condição climática, apresentando resultados bem próximos quando comparados entre si. Já para o ensaio 2, como apresentou resultado divergentes aos ensaios 1 e 3 devido as condições climáticas presentes no ensaio 2, não foi realizado a análise estatística.

A análise estatística não foi aplicada nas análises de coliformes pois não foi possível a realização em duplicada do teste, sendo assim não possuindo resultados para devidas comparações.

Tomando os dados de temperatura, pH, condutividade elétrica, cor aparente, cor verdadeira e turbidez coletados durante cada ensaio, calculou-se a média, aplicando assim a análise de variância ANOVA, fator único para todos os parâmetros.

6.1 Temperatura

A Tabela 9 mostra a análise de variância para temperatura entre os tratamentos, onde o valor de F encontrado é menor que o F crítico e o valor – p obtido maior que o valor de significância de 0,05, indicando que não houve diferenças significativas entre os valores de temperatura para cada tratamento não tendo sido realizado o teste de Tukey.

Tabela 9 – Análise de variância para temperatura

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,39	3,00	0,13	0,21	0,88	6,59
Dentro dos grupos	2,47	4,00	0,62			
Total	2,86	7,00				

Fonte: Autoria própria (2019).

6.2 Análise Estatística para pH

Pela Tabela 10 o valor – p encontrado mostra que foi maior que o valor de significância de 0,05 e o valor de F menor que o F crítico, sendo assim as médias de pH entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas e não foi realizado o teste de Tukey.

Tabela 10 – Análise de variância para pH

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,03	3,00	0,01	2,52	0,20	6,59
Dentro dos grupos	0,01	4,00	0,00			
Total	0,04	7,00				

Fonte: Autoria própria (2019).

6.3 Análise Estatística para Condutividade Elétrica

Com a análise estatística demonstrado na Tabela 11 não houve variação entre os tratamentos, sendo o F menor que o F crítico e o valor – p maior que 0,05 não tendo sido realizado o teste de Tukey.

Tabela 11 – Análise de variância para Condutividade Elétrica

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	875,00	3,00	291,67	0,05	0,98	6,59
Dentro dos grupos	24125,00	4,00	6031,25			
Total	25000,00	7,00				

Fonte: Autoria própria (2019).

6.4 Análise Estatística para Cor Aparente

Observa-se na Tabela 12 os resultados da análise de variância para cor aparente, onde o valor de F é menor que o F crítico e o valor – p obtido maior que o valor de

significância de 0,05, indicando que não houve variações significativas entre os tratamentos para o parâmetro analisado.

Tabela 12 – Análise de variância para cor aparente

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	4,34	3,00	1,45	0,32	0,81	6,59
Dentro dos grupos	18,38	4,00	4,59			
Total	22,72	7,00				

Fonte: Autoria própria (2019).

6.5 Análise Estatística para Cor Verdadeira

Pela análise da Tabela 13, pode-se observar que o valor de F é menor que o valor F crítico, e o valor – P é maior que 0,05 indicando que não há diferença significativa entre os tratamentos e não sendo apresentado o teste de Tukey.

Tabela 13 – Análise de variância para cor verdadeira

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,34	3,00	0,78	0,04	0,99	6,59
Dentro dos grupos	83,88	4,00	20,97			
Total	86,22	7,00				

Fonte: Autoria própria (2019).

6.6 Análise Estatística para Turbidez

Com a análise de variância para turbidez como mostra a Tabela 14, foi possível observar que o valor de F é bem menor que o valor do F crítico e o valor – p bem maior que o valor de significância de 0,05, podendo-se dizer que não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 14 – Análise de variância para turbidez

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,009	3,000	0,003	0,055	0,981	6,591
Dentro dos grupos	0,224	4,000	0,056			
Total	0,234	7,000				

Fonte: Autoria própria (2019).

7. CONCLUSÃO

A partir dos resultados analisados nesse trabalho, a ação do sistema SODIS associado ao concentrador solar após o tratamento da água com a ação de coagulante orgânico *Moringa oleifera* foi eficiente para os ensaios 1 e 3 onde houve maiores valores de radiação solar e temperatura com resultados que atenderam a Portaria da Consolidação N° 5 de 2017.

Em relação aos diferentes tratamentos, a garrafa G3 (50% pintada voltada para baixo) apresentou uma maior eficiência em relação ao aumento da temperatura quando comparada aos tratamentos com garrafas pintadas G1 (100% pintada) e G2 (50% pintada voltada para cima). A garrafa G4 (sem pintura) apresentou uma temperatura inferior quando comparado aos outros tratamentos. A moringa oleífera apresentou-se eficiente ao reduzir os valores dos parâmetros analisados e o processo de filtração em areia precedido da desinfecção foi primordial para o bom andamento do sistema SODIS em concentrador solar.

Para os próximos trabalhos, pode-se sugerir a substituição das garrafas plásticas tipo PET por garrafas de vidros, pois evitam possíveis deformações, assim como a utilização de outros coagulantes e outras formas de filtros, a fim de comparar os resultados.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial. -- Brasília : ANA, 2012. 215 p. : Il. Acesso em: 10 dez. 2019.

Agência Nacional de Águas. Água no mundo: Situação da Água no Mundo. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo#>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

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

BELISÁRIO JUNIOR, J. C. Uso da semente da *Moringa Oleifera* no tratamento de água em corpos lânticos - Estudo de caso Lago Igapó II. 2016. 79 f. Graduação (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7288/1/LD_COEAM_2016_2_13.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. di B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. São Carlos: Rima Editora, v1. 2005.

BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. A política de recursos hídricos no Brasil. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 143-165, 1997.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde. Resolução n. 2914, de 14 de dezembro de 2011, Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília, 12 Dez. 2011.

BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde. Resolução nº 5, de 28 de setembro de 2017, Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União. Brasília, 28 Set. 2017.

BRANDÃO, V. A. da C. A importância do Tratamento Adequado da Água para Eliminação de Microorganismo. 2011. 36 f. Monografia de especialização (Curso de Biologia), Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/1855/6/2011_ValeriaAparecidaCBrandao.pdf>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

CAMACHO, F. P. et al. Uso do coagulante natural *Moringa oleifera* lam no tratamento de água com florações de cianobactérias. Revista Tecnológica, Maringá, p.305-313, 2014.

CANGELA, G. L. C. de. Tratamento de água para consumo humano em comunidades rurais com utilização de *Moringa oleifera* e desinfecção solar. 2014. 153 f. Dissertação de mestrado (Curso de Recursos Hídricos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/00971612.pdf;sequence=1>>. Acesso em: 17 Abr. 2019.

CAPANEMA, S. P. Instrumentação e controle em uma estação de tratamento de água. 2004. 97f. Dissertação de mestrado (Curso de Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/HSA-6B6PU3/490m.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 Abr. 2019.

CASTRO, J. E. O acesso universal a água é uma questão de democracia. Brasília: Ipea, 2016. 8 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/1102/1/BRU_n15_Acesso.pdf>. Acesso em: 07 Abr. 2019.

DANIEL, L. A. Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2001. 149 p.

DEGANUTTI, V.B.; LIMA, L. F.; VIEIRA, A. L. Utilização do sistema SODIS na região de Londrina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. 2014, Florianópolis. Anais: Cobeq, 2014. p.1-8.

DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Rio de Janeiro. ABES, v.1, 1993

DI BERNARDO, L. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

FERRARI, C. T. da R. R. Uso de coagulantes naturais para o tratamento de efluente da indústria de alimentos. 2015. 64 f. Dissertação de mestrado (Curso de Tecnologia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/bitstream/1/2160/1/MD_PPGTA_M_Ferrari20Crislaine%20Trevisanda%20Roch0Ribeiro_2015.pdf>. Acesso em: 11 Abr. 2019

FRANCO, M. Uso de coagulante extraído de sementes de Moringa oleífera como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas. 2012. 109 f. Dissertação de mestrado (Curso de Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/256904/1/Franco_Monalisa_M.pdf>. Acesso em: 01 Mai. 2019.

FREITAS, D. B. Estudo de melhorias dos sistemas de cloração da água de abastecimento na corsan pela instalação de evaporadores de cloro e lavadores de gases. 2011. Graduação (Curso de Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FONSECA, W.; CAROLA, C. R. Os rios e a vida: percepções para uma educação ambiental. Revista Eletrônica do Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande, v. 34, n. 2, p. 136-155, 2017. Disponível em: <

<http://www.periodicos.usp.br/ts/article/view/84942/87671>>. Acesso em: 05 Jun. 2019.

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

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. Abastecimento de água para consumo humano. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 872 p.

HENRIQUES, J. A. *et al.* Potencial de Remoção de Turbidez de Água para o abastecimento de comunidades rurais com o uso da *Moringa oleifera* Lam. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Campina Grande. Anais. Campina Grande: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2012. v. 1, p. 1-5.

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.

HERRERA, A. G., Desinfección Solar Del Agua, IMTA – Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua, Mexico, 2003

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 7, n. 4, p.75-95, dez. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Ivanildo_Hespanhol/publication/305306332_Potencial_de_Reuso_de_Agua_no_Brasil_Agricultura_Industria_Municipios_Recarga_de_Aquiferos/links/59358852aca272fc555dc232/Potencial-de-Reuso-de-Agua-no-Brasil-Agricultura-Industria-Municipios-Recarga-de-Aqueiferos.pdf>. Acesso em: 09 Abr. 2019.

IDEXX - Gerador de NMP para seus resultados de NMP do sistema Quanti-Tray. 2002. Disponível em: <<https://www.idexx.com/br/water/mpngenerator.html>>. Acesso em: 27 Out. 2017

JANZ, F. J. L. Coagulantes orgânicos e inorgânicos aplicados no tratamento de efluente de indústria cervejeira. 2018. 26 f. Graduação (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/10851/1/LD_COEAM_2018_2_11.pdf>. Acesso em: 05 Mai. 2019.

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

MEIERHOFER, R.; WEGELIN, M. Sodis Manual: Guidance on solar water disinfection. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology. 88p, 2002. Disponível em: <https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_p.pdf>. Acesso em: 05 Mai. 2019.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Água na indústria: Uso Racional e Reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 1696 p.

NUNES, J. A. Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais. 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012. 315 p.

OPAS – Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene. United Nations Children’s Fund, Geneva. 66p, 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf?ua=1>> . Acesso em: 05 Jun. 2019.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. da. Desinfecção de Efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): Avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. Eng. Sanit. Ambient., v. 10, n. 1, p.9-13, 2005.

PATERNIANI, J. E. S. *et al.* Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 6, p.765-771, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a15.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2019

PAVANELLI, G. Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 233 f. Dissertação de mestrado (Curso de Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/1813-084719/pt-br.php>>. Acesso em: 11 abr. 2019

PIANTÁ, C. A. V. Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água. 2008. 78 f. Graduação (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26026/000754989.pdf>>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

RESTREPO, I. *et al.* Avances en investigacion y desarrollo en agua y saneamento: para el cumplimiento de las metas del milenio. Santiago de Cali: Artes Gráficas del Valle Ltda., 2007.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. de A. Tratamento de água para consumo humano em comunidades rurais com utilização de *Moringa oleifera* e desinfecção solar: tecnologia utilizada. São Paulo: Bluncher, 1991. 332 p.

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. 35p, 2010. Disponível em: <[http://www.samaecaxias.com.br/Concurso/DownloadArquivoConcurso/Apostila%20O perador%20ETAE.pdf/](http://www.samaecaxias.com.br/Concurso/DownloadArquivoConcurso/Apostila%20O%20perador%20ETAE.pdf/)> Acesso em 11 Abr. 2019

SILVA, L. B. Coagulante orgânico *Moringa oleifera* como alternativa ao uso do coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de água. 2017. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

SILVA, M. J. M. da. Desinfecção de Água utilizando Energia Solar (SODIS): Inativação e Recrescimento Bacteriano. 2004. 81 f. Dissertação de mestrado (Curso de Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, E. R. A. da. Os objetivos do desenvolvimento sustentável e os desafios da nação. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília. 2018. 2 v. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180413_desafios_da_nacao_artigos_vol2_cap35.pdf>. Acesso em: 07 Abr. 2019.

SORIANI, M. Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento. 2015. 76 f. Graduação (Curso de Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5327/1/LD_COEAM_2015_1_14.pdf>. Acesso em: 12 Abr. 2019

SCHOENHALS, M. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. 2006. 102 f. Dissertação de mestrado (Curso de Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp102720.pdf>>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

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

