

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Camila Vitória De Carli

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL COM O USO DE
REATOR ULTRAVIOLETA DE BANCADA**

Frederico Westphalen, RS
2023

Camila Vitória De Carli

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL COM O USO DE REATOR
ULTRAVIOLETA DE BANCADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS) *campus* Frederico Westphalen, como
componente obrigatório para conclusão do curso
em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros

Frederico Westphalen, RS
2023

Camila Vitória De Carli

**DESINFECÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL COM O USO DE REATOR
ULTRAVIOLETA DE BANCADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS) *campus* Frederico Westphalen, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Engenheira Ambiental e Sanitária.

Aprovada em 04 de dezembro de 2023:

Dr. Raphael Corrêa Medeiros, Professor (UFSM) (Orientador)

Dr^a. Jaqueline Ineu Golombieski, Professora (UFSM)

Dr^a. Samara Terezinha Decezaro, Professora (UFSM)

Frederico Westphalen, RS

2023

RESUMO

DESINFECÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL COM O USO DE REATOR ULTRAVIOLETA DE BANCADA

AUTORA: Camila Vitória De Carli

ORIENTADOR: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros

Muitas doenças de veiculação hídrica são acarretadas por conta do mal tratamento da água. Uma das alternativas para a desinfecção da água superficial seria com o uso de agente físico: radiação ultravioleta. A desinfecção por meio da radiação ultravioleta constitui um procedimento que dispensa a introdução de substâncias químicas na água. A desinfecção não visa à destruição de todas as formas de vida, mas sim à inativação dos microrganismos patogênicos. Por isso, o objetivo deste trabalho é estudar a desinfecção de água superficial através do uso de reator ultravioleta de bancada visando melhoria de qualidade da água para comunidades desprovidas de sistemas de abastecimento, uma alternativa que passa a crescer com o passar dos anos e só se mostra cada vez mais eficiente em relação à inativação de microrganismos patogênicos ao ser humano. O trabalho foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen, com a utilização de água superficial retirado de um lago próximo à Universidade. As variáveis químicas e físicas relacionadas à qualidade da água para consumo humano utilizadas no trabalho foram: pH, Temperatura, Turbidez, Condutividade elétrica, ABS 254 nm, Cor aparente e verdadeira e Carbono Orgânico Total (COT), já as variáveis microbiológicas foram: Coliformes totais, *Escherichia coli* e Esporos de Bactérias Aeróbias (EBA). Foram realizados três ensaios em batelada e escala de bancada, com doses de: 1,68 (D1), 3,35 (D2), 5,04 (D3) e 6,72 (D4) Wh/m³. Com relação às variáveis físico-químicas, não se observaram mudanças no decorrer do processo, a partir da aplicação das diferentes doses de radiação. As inativações dos microrganismos obtiveram valores razoáveis, dado que a água não continha muitos sólidos suspensos, porém os valores de inativação para EBA não foram altos (0,52 log de inativação), isto se deve pelo tempo de contato ser curto, *E. coli* e Coliformes totais também não tiveram valores significativos de inativação, sendo 0,88 log de inativação para *E. coli*, o maior valor encontrado, equivalente a 87%, para dose D2, já para coliformes totais o 0,84 log de inativação, 85%, também na dose D2. Conclui-se então que são necessários maiores tempos de contato para melhores valores de inativação e que o uso combinado de métodos de desinfecção também seria uma solução para melhor sucesso na inativação de microrganismos.

Palavras-chave: Alternativas de desinfecção. Inativação de microrganismos. Saúde pública.

ABSTRACT

SURFACE WATER DISINFECTION USING BENCHTOP ULTRAVIOLET REACTOR

AUTHOR: Camila Vitória De Carli
ADVISOR: Prof. Dr. Raphael Corrêa Medeiros

Many waterborne diseases result from the improper treatment of water. One alternative for disinfecting surface water is the use of a physical agent: ultraviolet radiation. Disinfection through ultraviolet radiation is a process that eliminates the need for introducing chemical substances into the water. The goal of disinfection is not to destroy all forms of life but rather to deactivate pathogenic microorganisms. Therefore, the objective of this study is to investigate the disinfection of surface water using a benchtop ultraviolet reactor to improve water quality for communities lacking proper water supply systems. This alternative is increasingly proving to be efficient in the inactivation of pathogenic microorganisms over the years. The study was conducted at the Federal University of Santa Maria, Frederico Westphalen campus, using surface water extracted from a lake near the university. The chemical and physical variables related to water quality for human consumption included pH, temperature, turbidity, electrical conductivity, ABS 254 nm, apparent and true color, and Total Organic Carbon (TOC). Microbiological variables included total coliforms, *Escherichia coli*, and Aerobic Bacterial Spores (ABS). Three batch-scale benchtop experiments were conducted with doses of 1.68 (D1), 3.35 (D2), 5.04 (D3), and 6.72 (D4) Wh/m³. Regarding physicochemical variables, no changes were observed during the process with the application of different radiation doses. Microorganism inactivations yielded reasonable values, given that the water did not contain many suspended solids. However, inactivation values for EBA were not high (0.52 log inactivation), attributed to the short contact time. Similarly, *E. coli* and total coliforms did not show significant inactivation values, with 0.88 log inactivation for *E. coli* (87%) at dose D2 and 0.84 log inactivation for total coliforms (85%) also at dose D2. It is concluded that longer contact times are necessary for better inactivation values and that the combined use of disinfection methods would be a solution for more successful microorganism inactivation.

Keywords: Disinfection alternatives. Inactivation of microorganisms. Public health.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus mestres pelas contribuições de conhecimento e ensinamentos que foram fundamentais ao longo da minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, Dr. Prof. Raphael Corrêa Medeiros, por aceitar me orientar, pela disponibilidade e pelos ensinamentos em transmitir o conhecimento técnico e científico essenciais para a elaboração deste trabalho.

A Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen, pela estrutura física e tecnologia que proporcionou para este trabalho.

Aos meus amigos e familiares, em especial aos meus pais e minhas irmãs, que sempre me apoiaram e me incentivaram aos estudos ao longo da minha jornada acadêmica, uma presença que perdura até hoje. Em especial ao meu grupo de pesquisa, Mestranda Alexandra, Larissa e Daniel, que sempre me auxiliaram em toda trajetória acadêmica e pela amizade e também a técnica de laboratório, Michele, pela paciência, amizade e fofocas.

Ao Fundo de Incentivo à Pesquisa (FIPE) e a FAPERGS, através do projeto número 21/2551-0002156-0, pelo apoio financeiro.

Minha maior gratidão a todos aqueles que me apoiaram e me ajudaram na conclusão deste trabalho!

LISTA DE FIGURAS

Figura 01-Espectro eletromagnético com os comprimentos de onda para destaque em faixas UV (nm).....	18
Figura 2 - Local de coleta da água superficial do presente estudo.....	25
Figura 03- Reator ultravioleta de bancada.....	26
Figura 04-Inativação de Coliformes Totais, <i>E.coli</i> e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) em função das doses de 1,68 Wh/m ³ (D1), 3,35 Wh/m ³ (D2), 5,04 Wh/m ³ (D3) e 6,72 Wh/m ³ (D4) no ensaio 1.....	34
Figura 05- Inativação de Coliformes Totais, <i>E.coli</i> e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) em função das doses de 1,68 Wh/m ³ (D1), 3,35 Wh/m ³ (D2), 5,04 Wh/m ³ (D3) e 6,72 Wh/m ³ (D4) no ensaio 2.....	35
Figura 06- Inativação de Coliformes Totais, <i>E.coli</i> e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) em função das doses de 1,68 Wh/m ³ (D1), 3,35 Wh/m ³ (D2), 5,04 Wh/m ³ (D3) e 6,72 Wh/m ³ (D4) no ensaio 3.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 01-Métodos de análises das amostras e procedimentos.....	28
Tabela 02-Resultados físico-químicos dos testes da água bruta e de desinfecção UV para o ensaio 1.	29
Tabela 03- Resultados físico-químicos dos testes de desinfecção UV e da água bruta para o ensaio 2.	30
Tabela 04- Resultados físico-químicos dos testes de desinfecção UV e da água bruta para o ensaio 3.	30
Tabela 05-Resultados de contaminação de microrganismos Coliformes Totais, <i>E. coli</i> e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) na água bruta para os ensaios 1, 2 e 3.	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL.....	16
2.2 MECANISMO DE INATIVAÇÃO	17
2.3 VARÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA	19
2.3.1 pH (Potencial Hidrogeniônico)	19
2.3.2 Temperatura	20
2.3.3 Turbidez.....	20
2.3.4 Condutividade elétrica	21
2.3.5 Absorbância em 254 nm.....	21
2.3.6 Cor aparente e verdadeira	21
2.3.7 Carbono Orgânico total	22
2.4 VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA	22
2.4.1 Coliformes Totais.....	22
2.4.2 <i>Escherichia coli</i>	23
2.4.3 Esporos de bactérias aeróbias (EBA).....	23
2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 ÁGUA UTILIZADA NO ESTUDO	25
3.2 REATOR UV	25
3.3 DESINFECÇÃO UV	26
3.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1 INFLUÊNCIA E RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS ..	29
4.2 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS	32
5. CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

Todos os cidadãos são dignos e tem direito de ter de água limpa e tratada, como também o direito ao saneamento básico, direitos estes reconhecidos pela ONU em 2010 (ONU, 2015; Resolução 64/292). Porém, cerca de 33 milhões de pessoas não têm acesso ao sistema de abastecimento de água e mais de 90 milhões de habitantes não têm acesso ao sistema de esgotamento sanitário no Brasil (SNIS, 2021). Diante destes dados é possível observar como este processo é demorado, carente e necessita de preocupação e engajamento de prestadores de serviços de abastecimento de água e de próprios entes políticos.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), para atender às necessidades essenciais e reduzir os riscos à saúde, é preciso garantir um suprimento diário de água que varia de 50 a 100 litros por indivíduo (ONU, 2015). Porém, nestas circunstâncias muitas pessoas que estão isoladas de grandes centros não possuem esta quantidade de água para sobreviver, sobrevivem com muito menos e às vezes até sem tratamento, como uma simples desinfecção de água. A OMS estima que aproximadamente 2 bilhões de indivíduos carecem de acesso seguro a serviços de água potável e que mais de 3 bilhões não desfrutam de serviços de saneamento gerenciados de maneira segura, dados que demonstram a importância da qualidade de água para consumo (OMS, 2019).

Por mais que o Brasil detenha cerca de 12% de reservas de água doce do planeta, mesmo assim há uma má distribuição dela no país, que afeta muitas regiões (Alves, 2021), como por exemplo o Sudeste que acaba por gerar conflitos de usuários pelo uso da água pois não contém o suficiente para a demanda necessária da população, por outro lado a região Amazônica detém de uma produção hídrica de mais de 70% o que pode abastecer milhares de pessoas, estes casos são exemplos de quantidade e qualidade de água para os habitantes, por mais que a região da Amazônia detém de grandes quantidades de água ela é menos habitada em relação a região Sudeste. Cerca de 27% dos rios estão disponíveis para 95% da população brasileira (EMBRAPA, 2001).

Não basta ter água em quantidade, é necessário se ter água em qualidade, com tratamentos adequados para consumo humano, evitando doenças de veiculação hídrica, inativando patógenos, reduzindo a concentração de poluentes e protegendo a população contra estas doenças.

Muitas doenças de veiculação hídrica são acarretadas por conta do mal tratamento da água. Assim, para se ter um bem-estar e garantir saúde para as pessoas, é necessário, fazer o processo de desinfecção da água para abastecimento humano, como atenta no Art. 24 da Portaria 888 de 04 de maio de 2021 que a água deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos. No Brasil a maioria das estações de tratamento de água utilizam o tratamento convencional, com o uso de cloro, desinfetante primário, por ser mais barato e de maior eficiência, porém os protozoários possuem resistência em relação ao cloro, sendo assim não são inativados (BARBOSA & FERREIRA, 2021). E, com o passar dos anos, precisamente em 1974, utilizando do cloro como desinfetante primário, foi observado uma formação de subprodutos, como os trihalometanos (THM), que podem causar riscos à saúde da população, com potencial carcinogênico (TINÔCO, 2011; HELLER & PÁDUA, 2010).

Fazendo a desinfecção da água é garantido uma melhor qualidade de vida e diminui a possibilidade de transmitir doenças de veiculação hídrica. Uma das alternativas para a desinfecção da água superficial seria com o uso de agente físico, neste caso as lâmpadas ultravioleta, que formam poucos subprodutos pois ele atinge principalmente os ácidos nucleicos (ADN) dos micro-organismos e conseguem inativar boa parte dos microrganismos presentes na água que são nocivos à saúde humana (BARROSO & WOLFF, 2009; HELLER & PÁDUA, 2010).

Para que a população que está distante de centros urbanos seja atingida, e que tenha a garantia do tratamento de água são necessários tratamento descentralizados – ou, soluções alternativas – coletivas ou individuais, ou seja, pequenas estações que garantem eficiência de tratamento, com baixo custo de implantação, de fácil operação e manutenção. Por isso, o objetivo deste trabalho foi ter como alternativa de tratamento de água para essas pessoas, o uso de reator ultravioleta de bancada, uma alternativa que passa a crescer com o passar dos anos e só se mostra cada vez mais eficiente em relação à inativação de microrganismos patogênicos ao ser humano.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho almejou estudar a desinfecção de água superficial através do uso de reator ultravioleta de bancada visando melhoria de qualidade da água para comunidades desprovidas de sistemas de abastecimento público.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar a inativação de microrganismos indicadores em relação às doses de radiação ultravioleta aplicadas;

Avaliar a influência da radiação ultravioleta em variáveis físico-químicas na água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apenas uma pequena parcela de água possui os requisitos necessários em termos de qualidade, quantidade e disponibilidade para ser incorporada aos sistemas de abastecimento. Com frequência, essa água requer processos de tratamento antes de ser distribuída à população. A deterioração da qualidade da água devido à poluição e ao uso inadequado tem tornado o tratamento mais desafiador, agravando a escassez hídrica e elevando os perigos para a saúde humana associados ao seu consumo (HELLER & PÁDUA, 2010).

Em meados de 2000 a.C. observavam que o homem era capaz de contrair algumas doenças que provem da água, por isso foram feitas melhorias na qualidade da água (PROSAB, 2001). Microrganismos nocivos à saúde humana que causam doenças são transmissíveis por águas poluídas que contêm dejetos humanos ou animais, desse modo o agente patogênico é ingerido junto com a água (PROSAB, 2001). Assim, a qualidade da água é analisada pelos microrganismos que estão presentes, como *Escherichia coli*, coliformes totais e também por variáveis do ambiente onde esses microrganismos se proliferam, como em alta turbidez, pH ácido ou básico, e em diferentes temperaturas (BARBOSA & FERREIRA, 2021).

Apenas no século XIX que foi colocado como uma hipótese a água ser uma transmissora de doença. O médico John Snow, em 1849, determina que a água era o ambiente em que a doença de cólera se propagava para os seres humanos. Posteriormente, com a ajuda dos estudos de Snow, pesquisas conseguiram identificar e classificar alguns agentes patogênicos que causavam doenças de veiculação hídrica, como por exemplo febre tifoide e disenteria amebiana (PROSAB, 2001).

Fatores como a temperatura da água, o ambiente onde os microrganismos sobrevivem e a partículas de sólidos suspensos e coloidais na água são notáveis para a permanência de microrganismos patogênicos causadores de doenças de veiculação hídrica (PROSAB, 2001). Como exemplo, a Cólera e a Hepatite A e B são doenças que tem a mesma fonte de contaminação: fezes humanas e fezes de animais (VON SPERLING, 1998). Uma das causas disso se faz pela falta de redes coletoras de esgoto, pela falta de manutenção de tubulações que distribuição de água e também, não menos importante, a qualidade da água que é distribuída para a população (PROSAB, 2001).

A mortalidade infantil está relacionada estritamente à falta de saneamento básico nas regiões brasileiras. World Health Organization (WHO) (2017) e Organização Mundial da Saúde (OMS) dissertam que 80% das mortes por criança menores de 5 anos são causadas pela água contaminada, cerca de 1,5 milhão de crianças morrem por ano. Exemplo do Brasil, que nos anos 2000, no estado do Piauí, a mortalidade infantil estava com índices mais altos do que a população que recebe total cobertura de esgotos e de redes de distribuição de água (PROSAB, 2001). Este é um problema que afeta as regiões mais carentes do país, e que é necessário encontrar soluções para estes problemas. Tecnologias inadequadas nas estações de tratamento de água em relação às qualidades inadequadas da água bruta ou também de problema operacionais se tornam difíceis em resolver, e que uma melhor adequação dos sistemas desinfecção da água poderia ajudar a solucionar estes problemas (PROSAB, 2001).

Alguns dos problemas ao tratamento da água estão relacionados com a infraestrutura do saneamento e da distribuição, são necessárias ampliações e manutenções de unidades de tratamento de água para consumo humano, elas caminham lentamente e como consequência há algumas regiões brasileiras, principalmente aquelas afastadas, em pequenas localidades, que não realizam nenhum tipo de tratamento de água superficial ou subterrânea, esta carência de infraestrutura aumenta a vulnerabilidade das populações que moram longe de grandes centros, quando há contaminação na água, possivelmente, se usada para consumo, contribuirá para a propagação de doenças (PROSAB, 2001; WHO, 2021).

Algumas doenças são disseminadas pelas águas de ambientes terrestres que abrigam microrganismos naturais, como bactérias, fungos, protozoários e algas, dos quais alguns são reconhecidos por sua capacidade de produzir toxinas. Estes microrganismos afetam o ser humano caso sejam ingeridos, algumas bactérias causam diarreias, febre ou náusea. Por isso é necessário se utilizar de indicadores biológicos para saber a qualidade da água que será utilizada para abastecimento humano, estes indicadores de contaminação fecal, por exemplo, estão no grupo de coliformes (HELLER & PÁDUA, 2010; VON SPERLING, 1996; FUNSA, 2013).

Compete à Portaria 888, do Ministério da Saúde, os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Nela também são apresentados todos os valores máximos permitidos para *Escherichia coli* e coliformes totais, além de

metais e outros parâmetros de qualidade da água, como por exemplo, para turbidez e cor, para a água ser considerada potável (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

O excesso de impurezas na água, sejam de natureza química ou biológica, pode acarretar sérias repercussões tanto na saúde humana quanto nas atividades econômicas, pois é necessário um tratamento mais eficaz e com procedimentos rigorosos para a retirada destas impurezas, alguns dos microrganismos são responsáveis pelo odor e sabor que às vezes a água bruta possui (RICHTER, 1991). Nesse sentido, torna-se indispensável a realização de análises abordando as características físicas, químicas e biológicas da água. Essas análises conjuntas fornecerão uma avaliação da contaminação do recurso hídrico e qual abordagem de tratamento será mais apropriada para determinado fim, como por exemplo consumo humano (HELLER & PÁDUA, 2010; FUNASA, 2013).

A identificação e a quantificação de vírus, bactérias, protozoários e helmintos enfrentam desafios técnicos e financeiros significativos, sendo essa a razão pela qual, frequentemente, a avaliação da qualidade microbiológica da água determinada ao consumo humano é realizada de maneira indireta, através do uso de organismos indicadores, como por exemplo a bactéria *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes, esta maneira de caracterizar a água é mais barata (HELLER & PÁDUA, 2010).

Apesar da utilidade dos indicadores, *E. coli* e coliformes termotolerantes, é importante reconhecer suas restrições, especialmente quando se considera que vírus, cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos demonstram maior resistência à desinfecção em comparação às bactérias. Portanto, a ausência de *E. coli* e coliformes termotolerantes não implica necessariamente que a amostra analisada esteja isenta de organismos patogênicos. No processo de tratamento da água, a desinfecção tem como objetivo a inativação de bactérias e vírus, enquanto protozoários e helmintos são predominantemente removidos por meio do processo de filtração (HELLER & PÁDUA, 2010).

Um dos desinfetantes mais utilizados no Brasil, é o cloro (Cl_2) que contém várias vantagens, como custos menores, de fácil manutenção, deixa residual de Cloro até o consumidor final além de ser bem eficiente, porém, alguns microrganismos são resistentes a ele e segundo Barroso & Wolff (2009) o cloro (Cl_2) pode apresentar poder cancerígeno.

Por estes motivos de doenças que podem causar ao ser humano e de preocupações com o meio ambiente, solo e fauna, faz-se necessário o tratamento da água para abastecimento humano. Sabendo que em localidades afastadas de centros urbanos o tratamento é mais complicado e se torna mais caro, pois, normalmente, nestes locais rurais,

é usada água subterrânea de poço ou superficial e sem tratamento. Neste sentido, a utilização de radiação ultravioleta, próxima ao ponto de consumo, se torna uma opção mais barata para estes locais com falta de investimento em abastecimento e saneamento básico.

2.1 ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL

Pesquisadores têm buscado alternativas tecnológicas para o processo de desinfecção, como por exemplo, o uso de radiação ultravioleta (WISBECK et al., 2011), que inativa os microrganismos patogênicos e pode eliminar aqueles que são resistentes ao cloro. Logo, este método pode substituir a cloração e outros desinfetantes.

O grau de inativação obtido pela radiação é diretamente proporcional à dose aplicada na água (BARROSO & WOLFF, 2009). Além do mais, alguns contaminantes também contam para a aplicação de diferentes doses e interferem no tratamento da água, como por exemplo ferro, turbidez e partículas em suspensão (BARROSO & WOLFF, 2009).

Segundo Daniel (2001) um problema que pode ocorrer com a utilização de radiação UV é a recuperação dos microrganismos que estavam inativos. Isso pode acontecer devido à reversão das reações fotoquímicas, recebendo uma dose subletal de radiação UV, assim, os microrganismos podem voltar a ser ativos.

A desinfecção não visa à destruição de todas as formas de vida, mas sim à eliminação dos microrganismos patogênicos. Os agentes desinfetantes operam através de um ou mais dos seguintes mecanismos: a) destruição da estrutura celular; b) perturbação do metabolismo com a inativação de enzimas; c) interferência na biossíntese e no crescimento celular, suprimindo a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas, os fótons interagem diretamente com os ácidos nucleicos do organismo-alvo, que causam danos. A luz ultravioleta provoca danos ao DNA através da dimerização de moléculas de timina adjacentes, inibindo assim a transcrição do código genético da célula (HELLER & PÁDUA, 2010; HOWE, 2016).

A eficácia da inativação está sujeita às características individuais de cada microrganismo, ao tipo de desinfetante utilizado e à qualidade da água (HOWE, 2016). Patógenos que se encontram em estados esporulados e encistados demonstram uma notável resistência. A determinação da dose, a duração do contato e seleção do agente empregado

na prática de desinfecção deve ser preferencialmente baseada em procedimentos de ensaios laboratoriais, ou em escala-piloto (HELLER & PÁDUA, 2010).

A desinfecção por meio da radiação ultravioleta constitui um procedimento que dispensa a introdução de substâncias químicas na água, mas não permite a manutenção de um residual, como ocorre com o cloro, a fim de prevenir contaminações no sistema de distribuição. Para superar esse desafio, uma alternativa viável é a combinação da radiação ultravioleta com outra modalidade de agente desinfetante que promova esse residual. É importante ressaltar que as modificações resultantes da exposição à radiação ultravioleta na matéria orgânica não apresentam riscos para a saúde humana nem para o meio ambiente, diferentemente do Cloro, que com o uso frequente acaba por formar subprodutos que tem forte poder cancerígeno para o ser humano, além do cloro poluir o meio ambiente, por ser tóxico e se reagir em meio aquoso é capaz de formar ácido tóxico (HELLER & PÁDUA, 2010; CETESB, 2013).

O comprimento de onda adequado para a inativação dos micro-organismos segundo Bolton (1999) apud Daniel (2001) é de 245nm a 285 nm, que está inserido na faixa de UV-C, que é entre 200 a 280 nm, a qual é considerada ótima para inativação de microrganismos. Daniel (2001) ainda disserta que os microrganismos não são retirados da água, nem as partículas, sejam elas orgânicas ou inorgânicas (BARROSO & WOLFF, 2009).

É de suma relevância destacar que, após a aplicação do processo de desinfecção por radiação ultravioleta, não há residual, aspecto que deve ser devidamente ponderado no contexto das águas destinadas ao consumo humano (BARROSO & WOLFF, 2009). Ainda, com as mesmas autoras, a radiação UV não induz alterações químicas na água; nenhum componente é acrescentado, exceto energia.

2.2 MECANISMO DE INATIVAÇÃO

As lâmpadas UV são mais enérgicas e germicidas quando comparada às lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas UV emitem a radiação UV-C (200 a 280 nm), enquanto que as lâmpadas fluorescentes emitem UV-A (315 a 400 nm) e UV-B (280 a 315 nm) (BARROSO & WOLFF, 2009).

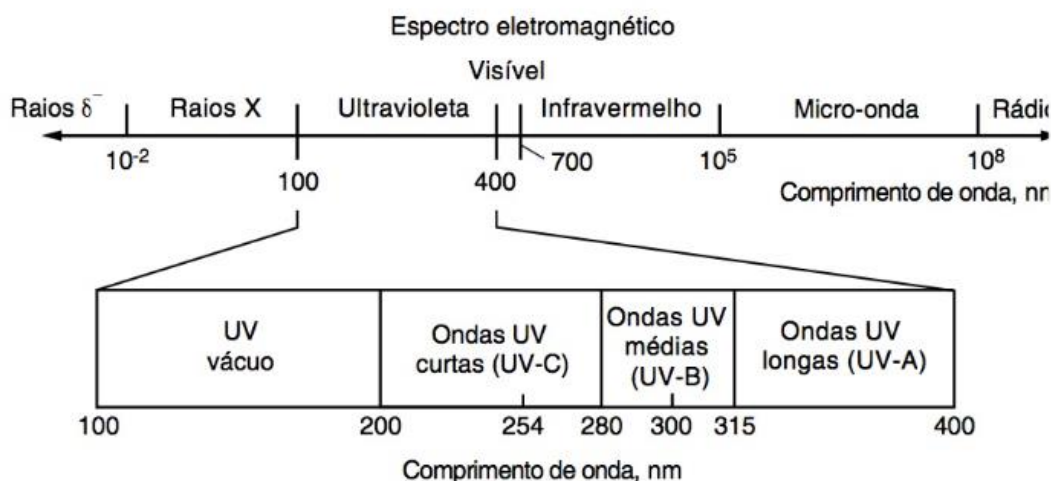
A Figura 01 exemplifica melhor os comprimentos de onda e seus respectivos raios UV.

UV-A: Por ser caracterizado por uma baixa energia, é considerado menos prejudicial aos seres humanos. Essa forma de radiação UV é empregada para induzir fluorescência em materiais e é amplamente utilizada em câmaras de bronzamento (RYER, 1997 apud MARTINS 2021).

UV-B: É a manifestação mais danosa da luz ultravioleta, pois detém energia suficiente para causar danos aos tecidos biológicos, sendo em quantidade mínima para não ser totalmente absorvida na atmosfera. Esta forma de radiação ultravioleta é associada ao desenvolvimento de câncer de pele (RYER, 1997 apud MARTINS 2021).

UV-C: O comprimento de onda com propriedades germicidas abrange a faixa de 254 nm, o qual é o mais eficaz para a inativação bactericida, correspondendo à emissão máxima das lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. A faixa ideal para a inativação de microrganismos situa-se entre 245 nm e 280 nm (RYER, 1997 apud MARTINS 2021).

Figura 01-Espectro eletromagnético com os comprimentos de onda para destaque em faixas UV (nm).



Fonte: Howe et al. (2016).

Diferentemente da maioria dos agentes desinfetantes empregados em tratamento de águas, a radiação ultravioleta não efetua a inativação dos microrganismos por meio de interações (reações) químicas. A inativação de tais microrganismos decorre da absorção da luz de alta energia, desencadeando reações fotoquímicas com os constituintes celulares essenciais, resultando na perturbação de seu funcionamento normativo (DANIEL, 2001).

Para eliminar os microrganismos que se encontram na água superficial é necessário que os raios UV transpassem a barreira celular, adentrem a membrana celular externa, percorram o corpo celular, eventualmente desestruturam o material genético e obstruem a subsequente reprodução (BARROSO & WOLFF, 2009).

A quantia de matérias orgânicas na água tem total influência na desinfecção da água isto porque a matéria orgânica tem a capacidade de absorver radiação UV, podendo ser necessário maiores doses de radiação ou maiores tempos de exposição à radiação UV, isto seria para alcançar o mesmo nível de inativação em comparação com a água contendo uma menor quantidade de matéria orgânica dissolvida. Se a quantidade de matéria orgânica na água bruta for considerável, é aconselhável aplicar a radiação UV somente após a remoção dessa matéria, por meio de processos como coagulação ou filtração em carvão ativado (VELOSA, 2015).

As exigências de inativação são categorizadas em inativação superior a 2 log e inativação inferior a 2 log. Essa distinção é estabelecida com o propósito de avaliar a possibilidade de alcançar altos níveis de inativação com quantidades moderadas de desinfetantes (SILVA, 2007).

2.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

As variáveis químicas e físicas relacionadas à qualidade da água para consumo humano, destacadas no decorrer do texto, foram as utilizadas no trabalho.

2.3.1 pH (Potencial Hidrogeniônico)

O potencial hidrogeniônico (pH), que denota a concentração de íons hidrogênio H^+ e caracteriza o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, é expresso em uma escala de 0 a 14 unidades de pH (VON SPERLING, 1998).

Nos laboratórios das estações de tratamento, esse parâmetro é constantemente avaliado e ajustado conforme necessário, visando aprimorar tanto o processo de coagulação/floculação da água quanto o controle da desinfecção, isto se deve em função do tipo de coagulante necessário no tratamento da água, se o pH for básico se utiliza um tipo de coagulante e se for ácido outro tipo de coagulante, este fator implica na correção de

pH, processo final, para distribuição da água para a população, para assim evitar corrosão no encanamento e garantir a qualidade para o consumidor final (FUNASA, 2013).

2.3.2 Temperatura

A temperatura tem efeito sobre as fases de tratamento da água, como coagulação, floculação e sedimentação. Também influencia na parte química da água, pois alguns compostos podem se organizar de maneiras diferentes em diferentes temperaturas. E em temperaturas elevadas a desinfecção é mais assertiva (MEYER, 1994).

O aumento da temperatura pode ampliar o potencial de proliferação de microrganismos no sistema de distribuição de água, resultando potencialmente em um aumento percebido na intensidade de gosto e odor (HELLER & PÁDUA, 2010).

2.3.3 Turbidez

É aquela que tem a função de indicador sanitário não somente estético, tem grande importância pois é um dos parâmetros primordiais que indicam qual o tipo de tratamento para água, valores abaixo de 1 uT ajudam na eficiência de desinfecção (HELLER & PÁDUA, 2010).

A turbidez da água antes da desinfecção, seja após a filtração ou não, representa um parâmetro para monitorar a eficácia da desinfecção, uma vez que partículas em suspensão podem oferecer proteção, como um escudo, aos microrganismos contra os efeitos dos agentes desinfetantes, sejam químicos ou físicos (PROSAB, 2001). Portanto, os valores de turbidez da água é uma parte integrante dos padrões microbiológicos para a potabilidade da água, uma vez que valores baixos de turbidez indicam eficácia na remoção de microrganismos pela filtração e garantem a eficácia da desinfecção (HELLER & PÁDUA, 2010).

Água com turbidez inferior a 20 uT pode-se levar diretamente para uma filtração, já para valores superiores a 50 uT requerem uma etapa de pré-filtro para remoção de sólidos mais grosseiros (VON SPERLING, 1998).

A turbidez tem sido associada à existência de protozoários, uma vez que águas turvas podem servir como um refúgio para esses microrganismos, dado que os cistos e oocistos apresentam uma notável afinidade por compostos orgânicos e inorgânicos, favorecendo sua aderência (BARBOSA & FERREIRA, 2021).

2.3.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água está intrinsecamente relacionada à concentração de sais dissolvidos, manifestando-se de maneira aproximadamente proporcional a essa quantidade. A avaliação da condutividade possibilita uma estimativa rápida da quantidade dos sólidos totais dissolvidos (STD) presentes na água (HELLER & PÁDUA, 2010).

Os fatores de condutividade são tabelados e variam de acordo com os íons presentes na água, quanto mais íons dissolvidos na água maior será a condutividade elétrica da mesma, que também podem variar de acordo com o pH ou com a temperatura (HELLER & PÁDUA, 2010, p. 192 apud BRANCO et al.1991; CRUZ et al., 2007 apud SILVA, 2018).

A condutividade elétrica também pode indicar que contém características corrosivas na água (CETESB, 2009). Os íons presentes na água garantem uma melhor condução de corrente elétrica (ROSA, 2015).

2.3.5 Absorbância em 254 nm

Absorbância é aquela que está relacionada à concentração de sólidos suspensos totais contidos na água, como também de compostos de ferro e de substância húmicas (TINÔCO, 2011).

A medida da quantidade de luz que atravessa a água e atinge os microrganismos desejados é feita por meio da absorbância a 254 nm (TINÔCO, 2011).

Silva (2007) mostrou que a turbidez e a absorbância têm correlações pois ambas variáveis apresentaram um pico de crescimento conforme o crescimento da bactéria *Beggiatoa sp.*

2.3.6 Cor aparente e verdadeira

A cor indica que pode haver algas, compostos orgânicos na água ou até minerais, como ferro, quando a água fica amarelada. A cor da água é proveniente de substâncias orgânicas (FUNASA, 2013). Costuma-se aferir cor aparente e cor verdadeira da água, a cor verdadeira é quando determina a cor sem turbidez, após a amostra ser filtrada ou passar por centrifugação. Já a cor aparente é determinada da amostra com turbidez, ou seja, com materiais em suspensão, sem filtração ou centrifugação. A cor bruta com valores abaixo de

5 uH não precisam de coagulação química para tratamento para água de abastecimento humano, já as com valores superiores de 25 uH necessitam coagulação química e filtração final, valores de cor entre 5 e 25 uH, necessitam de filtração direta ou em linha (VON SPERLING, 1998; ROSCHILD, 2018).

Segundo a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, Art. 16, estabelece que valores máximos permitidos de cor aparente presente na água para abastecimento urbano seja de 15 uH de padrão de aceitação.

2.3.7 Carbono Orgânico total

É toda substância que contém algum tipo de carbono presente numa amostra de água (BENEDETTI, 2012).

O Carbono Orgânico Total (COT), especialmente quando está dissolvido, desempenha um papel crucial no crescimento da comunidade de algas no ecossistema aquático. O COT também desempenha um papel importante no processo de fotossíntese, influenciando na penetração das radiações solares no corpo d'água (COSTA et al., 2000).

São todos os átomos de uma molécula orgânica que estão ligados covalentemente (HILLEBRAND, 2018).

2.4 VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

2.4.1 Coliformes Totais

São bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos. Estes coliformes estão presentes no trato intestinal do ser humano e de alguns animais (CONTE, 2004). Os coliformes também não possuem oxidase e não geram esporos (FUNASA, 2013). Utilizar deste conjunto de bactérias como indicadoras de qualidade da água se deve porque: são encontradas nas fezes de animais de sangue quente, incluindo seres humanos, a presença delas na água está intimamente ligada ao nível de contaminação fecal e podem ser identificadas e quantificadas facilmente por meio de técnicas simples e economicamente acessíveis, aplicáveis em qualquer tipo de água (FUNASA, 2013).

2.4.2 *Escherichia coli*

Trata-se de um organismo que sinaliza a presença de poluição recente de fonte exclusivamente fecal, sendo também um eficaz marcador de bactérias entéricas de origem humana, vírus e microrganismos de menor resistência (PROSAB, 2001).

A falta de presença de *E. coli* não implica automaticamente que a amostra analisada está isenta de organismos patogênicos, por isso é fundamental empregar outros indicadores que demonstrem uma resistência mais pronunciada aos agentes desinfetantes (SILVA, 2007). Em termos gerais, no tratamento da água, as bactérias e vírus tendem a ser inativados durante o processo de desinfecção, enquanto protozoários e helmintos são predominantemente removidos por meio da filtração (HELLER e PÁDUA, 2010).

Na Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde que estabelece as diretrizes para os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como seus padrões de potabilidade, no Art. 29 determina que nas análises microbiológicas de água para consumo humano não deve conter a presença de *E. coli* e de coliformes totais em amostra de 100 mL de água.

2.4.3 Esporos de bactérias aeróbias (EBA)

Os esporos atuam como estruturas de sobrevivência quando a bactéria se encontra em condições ambientais desfavoráveis. São bons indicadores da eficiência do tratamento da água e exibem potencial de uso como indicadores da remoção de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* (OLIVEIRA, 2015).

Os cistos de *Giardia* exibem notável tenacidade ambiental, possuindo doses infectantes reduzidas e apresentando desafios substanciais no que concerne à sua remoção e/ou inativação em Estações de Tratamento de Água (OLIVEIRA, 2015). Ainda, com a mesma autora, a resiliência e a durabilidade ambiental dos cistos de *Giardia* são fatores que contribuem significativamente para a transmissão por meio do consumo de água.

Há uma dificuldade na remoção e na inativação de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*, devido à sua longa persistência no ambiente e à diversidade de espécies e genótipos, esses protozoários, caracterizados por sua capacidade de infectar diversos hospedeiros, são amplamente prevalentes em várias regiões (OLIVEIRA, 2015).

Na Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, no Art. 29, diz que se concentração de oocistos for abaixo de 1 oocisto/L e a média geométrica móvel se mantenha superior ou

igual a 1.000 *Escherichia coli*/100mL deve-se realizar o monitoramento, de ao menos um ano, de esporos de bactérias aeróbias.

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta apresenta vantagens substanciais, uma vez que uma ampla gama de bactérias pode ser inativada com doses reduzidas e em períodos de contato mais curtos (permitindo desinfecção em intervalos de 10 a 60 segundos), além disso, não resulta na formação de subprodutos e residuais que poderiam vir a reagir com outras substancias orgânicas, baixos custos e facilidade de operação e uma priorização fundamental da segurança tanto dos operadores quanto do público, além de não prejudicar a vida aquática (Souza (2000) apud Daniel (2001) p. 65).

A radiação UV é um processo físico que, diferentemente dos processos químicos, não é necessário manusear com transporte de produtos tóxicos ou químicos e também não é necessário o armazenamento dos mesmos (USEPA, 1999).

Porém, assim como outros desinfetantes, este também tem algumas desvantagens como não deixar residual para a água distribuída (Souza (2000) apud Daniel (2001) p. 66), sendo que na Portaria 888 dispõe de valores mínimos em redes de distribuição. Ainda, se na água conter nutrientes, estes podem se agregar e formar biofilmes nas tubulações, ou até mesmo no reator (USEPA, 1999) e corroborar para o crescimento dos microrganismos.

A turbidez em conjunto com os sólidos suspensos totais promovem a ineficiência de inativação, em virtude de que a radiação UV não atinge a estrutura celular do microrganismo (DANIEL, 2001; USEPA, 1999).

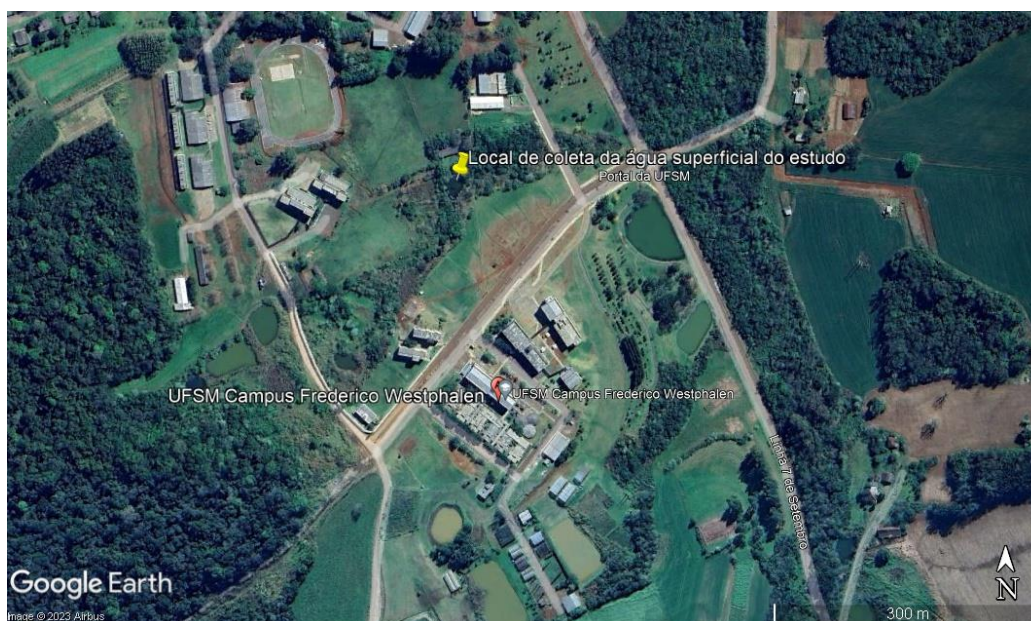
Esta alternativa de desinfecção de água destinada ao consumo humano é possível e aplicável em pequenas localidades, onde não demanda operações de grande escala. Essa prática é facilitada pelo fato de que o reator ultravioleta pode ser projetado para operar em baixas vazões.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁGUA UTILIZADA NO ESTUDO

Para a realização do experimento foi utilizada água superficial, retirada do lago da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen. Os ensaios foram realizados nos dias 20 e 26 de maio de 2023 e 02 de junho de 2023. As águas eram coletadas no dia em que se faziam os ensaios de desinfecção. Se a água estava com valor menor de 20 UNT para turbidez, se prosseguiam os ensaios, os quais foram realizados em batelada e escala de bancada.

Figura 2 - Local de coleta da água superficial do presente estudo.



Fonte: Google Earth, 2023.

3.2 REATOR UV

Para fazer a desinfecção da água foi utilizado o reator ultravioleta, seu material é de PVC de diâmetro de 100 mm. A radiação é emitida por uma lâmpada UV monocromática de baixa pressão, com 15 W de potência, com faixa de emissão de 254 e 185 nm.

Os ensaios foram realizados em bateladas, nas seguintes doses de: 1,68 (D1), 3,35 (D2), 5,04 (D3) e 6,72 (D4) Wh/m³. Para perfazer uma lâmina d'água de 4 cm, era necessário o acréscimo de 1,8 litros de água no reator. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi calculado conforme a ABS 254 nm da água bruta para conseguir as doses citadas acima. Para cada valor de ABS 254 nm da água variava-se o tempo necessário para que a água passasse pela dose necessária. Os tempos para o ensaio 1 foram de 15, 30, 45 e 60 segundos, para o ensaio 2 foram de 8, 17, 25, 34 segundos e para o ensaio 3 os tempos foram de 7, 14, 21 e 28 segundos.

Figura 03- Reator ultravioleta de bancada.



Fonte: Cavalheiro (2023).

3.3 DESINFECÇÃO UV

Ao iniciar o experimento, o aparelho reator foi limpo com água destilada, logo após foi ligado e deixado 15 minutos para estabilização da lâmpada UV. A cada batelada foi ligado a UV em um tempo de 3 minutos e higienizado com água destilada. Importante destacar que se iniciou com a maior dose e maior tempo, D4, e posteriormente em ordem decrescente.

Depois dos ensaios de cada dose de desinfecção, foram coletados aproximadamente 500 ml de amostra desinfetada e utilizada para avaliação de inativação de microrganismos para análises microbiológicas e físico-químicas.

As leituras de inativações dos microrganismos foram feitas através do decrescimento logarítmico, como mostrado na Equação 01.

Equação 01 – Eficiência de inativação microbiana por Log:

$$\text{Eficiência de inativação} = -\text{Log} \frac{Nx}{N0}$$

Onde:

Eficiência de inativação: log de inativação microbiana;

Nx: Número de organismos no tempo necessário para cada dose;

N0: Número de organismos no início dos ensaios.

Para um melhor entendimento dos dados dos resultados, calculou-se também a porcentagem de inativação dos microrganismos de acordo com a Equação 02.

Equação 02- Eficiência de inativação microbiana por %:

$$\text{Eficiência de inativação por \%} = \frac{(N0 - Nx)}{N0} * 100$$

Fonte: LOBO et al., 2009.

3.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

Para as análises microbiológicas foi utilizada a técnica de membrana filtrante. Após a filtração, a membrana foi colocada no meio de cultura para crescimento de esporos de bactérias aeróbias, de *E. coli* e coliformes totais.

Para fazer o meio de cultura para crescimento de *E. coli* e coliformes totais foram utilizados 15,9 gramas de Chromocult Coliform Agar® em 600 mL de água destilada autoclavada. Logo após dissolver em água quente, agitando bem até atingir 90 °C. Após essa etapa, era colocado 20 mL do meio em cada placa de Petri.

Para fazer o meio de cultura para contagem de esporos de bactérias aeróbias (EBA) foram utilizados 13,8 gramas de Ágar Nutriente e 0,009 gramas de azul de tripano em 600 ml de água destilada. Os meios eram diluídos sob agitação em água, até atingir 80 °C. Logo após, o meio era esterilizado em autoclave, por 15 minutos em 121 °C. Por último, era disposto 20 mL do meio em cada placa de Petri.

A Tabela 01 contém os métodos utilizados e os procedimentos descritos de acordo com cada metodologia. A metodologia das análises com equipamentos analíticos foi realizada conforme metodologia de *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* publicação da *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (APHA et al., 2012)*.

Tabela 01-Métodos de análises das amostras e procedimentos.

Variável	Aparelho utilizado
Turbidez (UNT)	Turbidímetro de bancada
ABS 254 nm	Método espectrofométrico (254 nm)
pH	pHmêtro de bancada
Temperatura (°C)	Termômetro de vidro
Condutividade	Condutivímetro de bancada
Cor aparente	Método espectrofométrico (nm)
Cor verdadeira	Amostra filtrada no Método espectrofométrico (nm)
Carbono Orgânico Total	Análise via acidificação e borbulhamento de gás inerte
<i>E. coli</i>	Método membranas filtrantes (meio de cultura Chromocult Coliform Agar®)
Coliformes totais	Método membranas filtrantes (meio de cultura Chromocult Coliform Agar®)
Esporos de bactérias aeróbias	Método membranas filtrantes (meio de cultura Ágar Nutriente®)

Fonte: Autora (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados dos ensaios, foram realizadas análises sobre a inativação de microrganismos que foram submetidos as doses UV, verificando a eficiência na inativação e a influência de parâmetros físico-químicos na água.

4.1 INFLUÊNCIA E RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Abaixo estão expostos os resultados, em tabelas, das análises físico-químicas da água bruta e da água desinfetada, da Tabela 02 à Tabela 04.

Tabela 02-Resultados físico-químicos dos testes da água bruta e de desinfecção UV para o ensaio 1.

		Cor aparente	Cor Verdadeira	Turbidez (UNT)	COT* (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Abs* 254 nm
Água bruta		182,2	8,0	13,8	14,38	6,84	13,40	81,1	0,394
Doses	(Wh/m ³)								
D1	1,68	76,4	7,0	11,1	16,81	7,00	14,10	82,1	0,773
D2	3,35	465,7	5,0	10,9	13,80	6,94	14,50	79,6	0,314
D3	5,04	254,6	10,0	11,5	17,57	7,00	14,50	79,2	0,285
D4	6,72	19,4	10,0	9,01	15,68	6,97	14,50	78,2	0,282

*COT- Carbono Orgânico Total; Abs – Absorbância. Fonte: Autora (2023).

No ensaio 1, nas doses D2 e D3 obtiveram maiores valores de cor aparente comparados às doses D1 e D4, decorrente da alta turbidez. O pH se manteve próximo à neutralidade, isto porque a desinfecção UV não provoca mudança de pH, essa é mais uma das vantagens da radiação ultravioleta, bem como Donaire (2001) e Mondardo (2015) concluíram que o pH não sofre influência da desinfecção UV. O valor de absorbância na água bruta para o ensaio 1 foi o mais elevado em relação aos demais ensaios, assim como na água pós desinfecção que também tiveram valores altos, decorrente da turbidez alta.

Tabela 03- Resultados físico-químicos dos testes de desinfecção UV e da água bruta para o ensaio 2.

		Cor aparente	Cor Verdadeira	Turbidez (UNT)	COT* (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Abs* 254 nm
Água Bruta		80,1	42,0	8,67	17,57	6,55	17,40	66,30	0,183
Dose	(Wh/m ³)								
D1	1,68	75,8	33,0	9,97	32,71	6,67	17,50	57,00	0,091
D2	3,35	70,9	43,0	8,76	28,95	6,69	17,80	62,10	0,081
D3	5,04	54,7	38,0	9,07	17,54	6,83	17,80	65,20	0,037
D4	6,72	59,1	44,0	6,4	16,50	6,73	17,60	71,30	0,062

*COT- Carbono Orgânico Total; Abs – Absorbância. Fonte: Autora (2023).

Para os resultados das análises físico-químicas da água desinfetada, no ensaio 2, obtiveram valores neutros para pH, assim como os valores de pH do ensaio 1, turbidez mais baixa, logo a cor aparente se manteve baixa também. Os valores para temperatura se mantiveram aproximados, não ultrapassando os 18 °C. Para a análise de COT, os resultados tiveram valores elevados, como justificativa de que no lago onde a água foi coletada contém muita matéria orgânica e os níveis de oxigênio podem ser baixos. E, como citado anteriormente, a água conter COT significa que está contaminada, em altas concentrações, contendo material orgânico na água que afetam o tratamento de água (FREITAS, 2011). Em comparação com os valores de turbidez do ensaio 3, no ensaio 2 foram maiores, porém os valores de absorbância para o ensaio 2 foram menores.

Tabela 04- Resultados físico-químicos dos testes de desinfecção UV e da água bruta para o ensaio 3.

		Cor aparente	Cor Verdadeira	Turbidez (UNT)	COT* (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Abs* 254 nm
Água Bruta		156	4	2,49	23,46	6,97	25,00	73,00	0,129
Dose	(Wh/m ³)								
D1	1,68	93	5	2,35	15,38	7,09	25,00	73,00	0,054
D2	3,35	62	3	2,32	25,56	7,05	25,00	72,80	0,102
D3	5,04	24	6	2,64	17,01	7,11	25,00	73,60	0,029
D4	6,72	109	5	2,57	33,68	7,21	25,00	72,80	0,084

*COT- Carbono Orgânico Total; Abs – Absorbância. Fonte: Autora (2023).

Para os resultados do ensaio 3 de análises físico-químicas obteve-se valores neutros de pH, assim como nos outros ensaios. A temperatura foi mais alta e se manteve nos 25 °C. Assim como nos demais ensaios os valores de COT tiveram valores altos, isso se deve pela quantidade de matéria orgânica presente na água bruta. Os valores de absorbância 254 no ensaio 3 tiveram valores mais baixos que o ensaio 1, em contrapartida, com os valores do ensaio 2, os valores foram mais altos, isto se deve pelo parâmetro da turbidez.

O pH da água bruta se manteve na neutralidade. Eventualmente, a maioria dos agentes patogênicos que afetam os seres humanos tendem a prosperar em um ambiente com pH neutro (MECHA, ONYANGO, & OCHIENG, 2019). Conforme estipulado na Portaria nº 888, emitida pelo Ministério da Saúde do Brasil em 4 de maio de 2021, é requerido que o pH das águas destinadas ao abastecimento público esteja situado dentro da faixa de 6,0 a 9,5 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). Sendo assim, o pH dos ensaios se mantiveram neutros e a água apta para a desinfecção. Em concordância com os resultados de Silva (2018) para valores de pH e temperatura que não variaram.

Valores de condutividade estão associados à alta concentração de sólidos dissolvidos totais-SDT, porém no caso destes ensaios os valores ficaram abaixo de 100µs/cm que tem como justificativa da água não conter altos valores de sólidos dissolvidos totais.

A absorbância foi baixa, variável esta que indica que há poucos sólidos suspensos na água superficial. Como consequências, pode-se aumentar o número de microrganismos que irão se inativar pelo processo de desinfecção UV na água superficial, em razão de que não contem sólidos que atrapalham os raios UV para atingir os microrganismos.

Conforme Silva (2018) em seus resultados a cor aparente teve diminuição conforme o aumento de dose, em comparação com este estudo os valores não foram tão expressivos pois, por exemplo, nos ensaios 2 e 3 os valores de cor aparente aumentaram bem como a dose aumentava, por outro lado no ensaio 1 a cor aparente na maior dose (D4) obteve o menor valor em relação as demais doses.

Tanto os valores de pH como os valores de temperatura não tiveram alterações após a desinfecção, isto porque estas variáveis físico-químicas não interferem na inativação de microrganismos por desinfecção de radiação UV (SILVA, 2007).

A condutividade elétrica teve diminuição de seus valores após a desinfecção UV, nos ensaios 2 e 3, pois depois do processo os íons presentes diminuiram, da mesma forma como constatado por Rosa (2015).

4.2 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

A eficiência de inativação dos microrganismos se dá pelo tempo de contato e não pela concentração do desinfetante (TINÔCO, 2011). De acordo com Mesquita et al. (2020) quando a inativação é baixa ou não há nenhuma variação de acordo com as doses pode ser devido à capacidade de fotorreativação das bactérias, pois a partir de uma determinada dose a tendência é estagnar a inativação destas bactérias.

Wisbeck et al. (2011) em experimentos com *E.coli* teve sucesso com tempos menores e comprovou que depois de um certo tempo, com maior exposição, não houve influência na inativação, pois as células apresentaram inativação constante. Por outro lado, Aguiar et al. (2002) apud Wisbeck et al. (2001), realizou ensaios com *E. coli* e obteve resultados de inativação de microrganismos para maiores tempos. Essa diferença de melhores tempos de exposição se deve pela dose de radiação usada e pelas variadas concentrações celulares.

Abaixo se tem a Tabela 05 que apresenta os resultados da determinação microbiológica presente na água bruta superficial.

Tabela 05-Resultados de contaminação de microrganismos Coliformes Totais, *E. coli* e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) na água bruta para os ensaios 1, 2 e 3.

Água bruta	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	EBA*
Ensaio 1	1,30E+04	3,00E+02	3,60E+03
Ensaio 2	3,30E+04	1,50E+03	3,10E+03
Ensaio 3	1,30E+04	3,00E+03	3,00E+03

* EBA - Esporos de Bactérias Aeróbias. Fonte: Autora (2023).

Analisando os dados da Tabela 05, com contaminação da água superficial bruta de microrganismos que afetam à saúde humana, como coliformes totais, *Escherichia coli* e EBA (esporos de bactérias aeróbias), se faz necessário a desinfecção da água, caso fosse utilizada para consumo. Estes microrganismos presentes nas amostras mostram a qualidade da água superficial, como coliformes totais que indicam contaminação de origem fecal e *E. coli* como um bom indicador de bactérias entéricas de origem humana, vírus e microrganismos menos resistentes (PROSAB, 2001).

Os ensaios de desinfecção UV não foram tão eficientes em comparação com outros autores para inativar as bactérias microbiológicas, por conter números altos de sólidos

dissolvidos e sólidos suspensos, o que faz com que a irradiação da luz UV não conseguisse atingir as bactérias e proporcionar uma melhor desinfecção na água. A cinética de inativação foi calculada utilizando a Equação 01, dos ensaios de desinfecção com radiação UV.

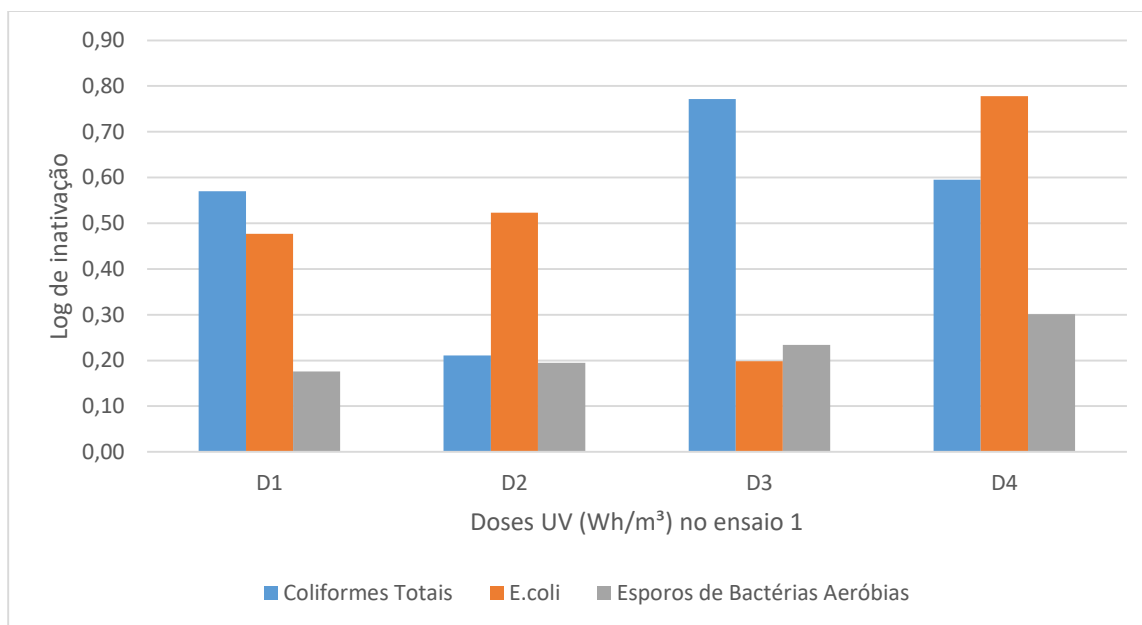
Verificam-se, de acordo com os dados que as maiores doses, conseqüentemente maiores tempos de exposição, foram os valores de maiores inativações. Baixas doses de UV não conseguem inativar alguns vírus, esporos e cistos (USEPA, 1999). Segundo Coletti (2003), para maiores doses de UV, maiores são os valores de inativação para coliformes totais.

Coletti (2003) observa sobre a ordem de resistência de desinfecção UV dos microrganismos sendo: Coliformes totais mais resistentes à *E.coli*. Também deve-se observar pela análise de Turbidez e Cor Aparente nas doses D1, que são altas em comparação com as demais, este é um fator que influencia na inativação destes microrganismos, pois as partículas em suspensão funcionam como um escudo e a radiação UV não consegue atingir a célula de estrutura do microrganismo, impedindo sua destruição (PROSAB, 2001).

Com a Figura 04 é possível analisar na dose D1 de inativação para EBA foi inferior comparada as demais, mas isto não significa que não teve remoções, a explicação se deve pela resistência dos EBA pela radiação UV, o tempo de contato e a dose UV deveriam ser mais altas. Baixas dosagens podem não conseguir inativas esporos (USEPA, 1999). Esporos são mais resistentes às bactérias e à vírus.

Como pode-se perceber, com a Figura 04 abaixo, os ensaios de desinfecção para EBA obtiveram valores bem inferiores as demais, porém percebe-se que a eficiência é crescente conforme a dose de UV aumenta também. Para possíveis melhores remoções dever-se-iam continuar os ensaios com doses de UV mais altas e maiores tempos de contato.

Figura 04-Inativação de Coliformes Totais, *E.coli* e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) em função das doses de 1,68 Wh/m³ (D1), 3,35 Wh/m³ (D2), 5,04 Wh/m³ (D3) e 6,72 Wh/m³ (D4) no ensaio 1.



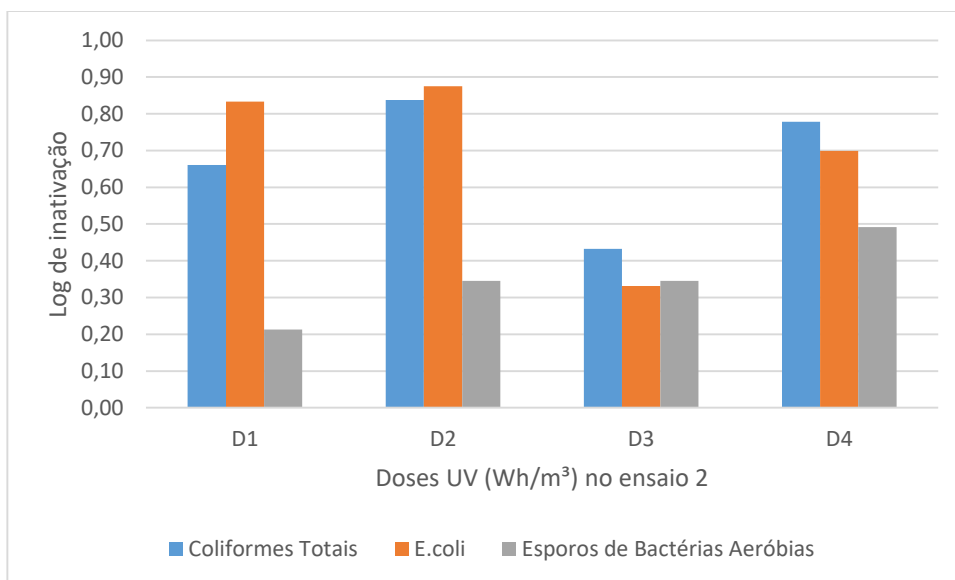
Fonte: Autora (2023).

Os ensaios de desinfecção UV foram eficientes dado que são números altos de inativação e, novamente, os Esporos de bactérias aeróbias obtiveram valores abaixo dos comparados com Coliformes totais e *E.coli*. Somente na dose D3, e observando o Figura 05, pode-se perceber que ambos Log de inativação destes microrganismos foram parecidos. Em comparação ao ensaio 1, na dose D3 somente para coliformes totais obteve valor acima dos demais.

Em relação a turbidez deste ensaio, estava relativamente alta, comparado ao ensaio 2, entretanto, mesmo assim, sua inativação para *E.coli* foi significativa, dado que o maior valor de inativação em relação aos demais ensaios (1 e 3) foi na dose D2 para *E.coli*.

O ensaio 2 obteve melhores valores para coliformes totais e *E.coli*, na dose D2, comparado ao ensaio 1, onde as inativações passaram de 80%.

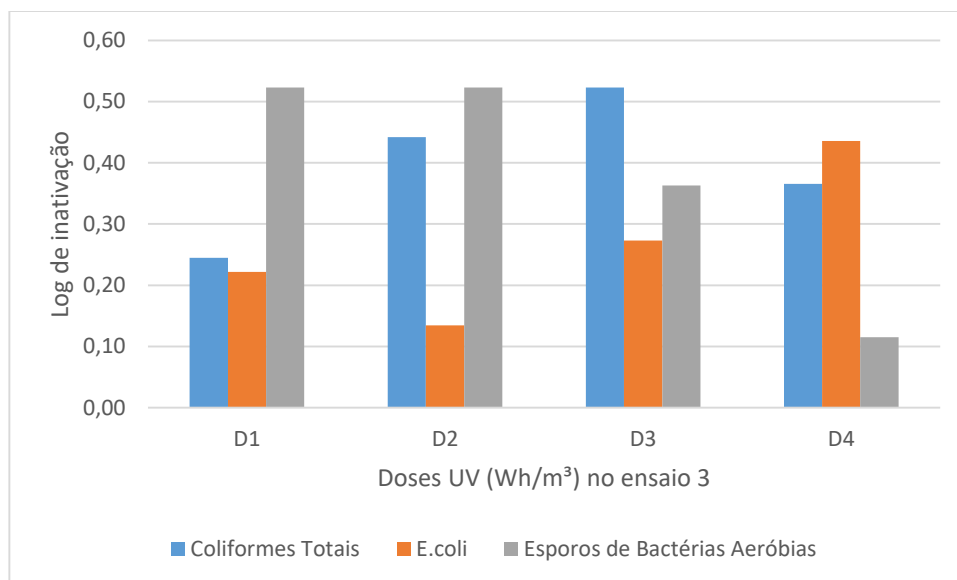
Figura 05- Inativação de Coliformes Totais, *E.coli* e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) em função das doses de 1,68 Wh/m³ (D1), 3,35 Wh/m³ (D2), 5,04 Wh/m³ (D3) e 6,72 Wh/m³ (D4) no ensaio 2.



Fonte: Autora (2023).

Diferentemente dos demais ensaios, o ensaio 3, obteve valores maiores de Esporos de bactérias aeróbias em comparação com coliformes totais e *E.coli*, por exemplo nas doses D1 e D2 que as inativações foram de 70%, valor este que foi o mais alto comparado aos outros ensaios e outras doses aplicadas. Pela Figura 06, abaixo, se tem uma melhor compreensão dos resultados dos dados. Neste ensaio 3, somente na dose D3 para inativação de coliformes totais os resultados foram satisfatórios chegando a 70% de inativação.

Figura 06- Inativação de Coliformes Totais, *E.coli* e EBA (Esporos de Bactérias Aeróbias) em função das doses de 1,68 Wh/m³ (D1), 3,35 Wh/m³ (D2), 5,04 Wh/m³ (D3) e 6,72 Wh/m³ (D4) no ensaio 3.



Fonte: Autora (2023).

Como citado anteriormente, por Mesquita et al. (2020), quando a falta de variação ou baixa inativação em resposta às doses de radiação ultravioleta ocorre devido à capacidade de fotorreativação das bactérias. Após atingir uma dose específica, a inativação dessas bactérias tende a estagnar. Desse modo, o mesmo aconteceu nos ensaios 1 e 2, onde a bactéria *Escherichia coli* teve seu ponto mínimo na dose D3 e somente na dose D4 que o log de inativação voltou a ser alto, valores parecidos com as doses D1 e D2.

Mounaouer & Abdennaceur (2012) afirmam que em temperaturas maiores, há uma atividade enzimática, que acontece uma recuperação das enzimas, podem causar choque térmico nas bactérias e assim alterar o processo de reativação. Em comparação com este estudo, as temperaturas não foram altas, com variação de 13°C a 25°C. Níveis mais elevados de fotorreativação foram observados com temperaturas extremas (50°C) ou muito baixas (5°C) (Mounaouer & Abdennaceur, 2012 apud Kashimada et al. 1996, p. 200).

Como citado anteriormente em estudos de Wisbeck et al. (2011), os experimentos com *E.coli* obtiveram sucesso com menores tempos (60 segundos) e que depois de um tempo (120 segundos), com maiores exposições, as inativações se mantêm constantes e que e Aguiar et al. (2002) apud Wisbeck et al. (2001) obtiveram valores de inativação de *E.coli*

com maiores tempos (120 segundos). No caso do presente estudo, este obteve valores significativos de *E.coli* para altas doses e maiores tempos, resultados semelhantes ao Aguiar et al. (2002) apud Wisbeck et al. (2001).

Conforme os resultados de Aguiar (2000) altos valores de cor verdadeira (20 a 30 uH) e de turbidez (20 a 30 uT) não tiveram nenhuma melhoria para a inativação de *E. coli*. Neste estudo também obteve valores altos tanto para cor verdadeira, como para turbidez e isso afeta, assim como no estudo de Aguiar (2000), a inativação de *E. coli*.

Silva (2018) obteve resultados positivos para eliminação de *E.coli* e coliformes totais, para lâmpadas com potenciais de 20 W e tempo de 30 minutos, não houve presença dessas bactérias na próximas 24 e 48 horas. No caso deste trabalho, a potência da lâmpada era de 15 W e com resultados com tempo de 17 segundos.

Baracuhy (2007) mostrou que as variáveis de pH e condutividade elétrica não influenciam na inativação de microrganismos, como *E. coli*. E que esta foi a que obteve os menores valores de inativação em comparação com *S. aureus*. A *E. coli* teve que ficar sob exposição da radiação UV por quatro horas, enquanto que *S. aureus* obteve inativação em uma hora. Em comparação com este estudo, a *E. coli* teve melhores resultados de inativação em maiores doses, somente no ensaio 2 que ela teve melhor inativação em doses menores.

Como melhores resultados para inativação de *Escherichia coli*, tem-se no ensaio 2 para dose D2, com 87% de inativação, log de 0,88, com turbidez de água bruta com aproximadamente 9 UNT.

Para os melhores resultados de inativação de Coliformes Totais, tem-se no ensaio 2 para dose D2, com 85% de inativação, log de 0,84, com turbidez de água bruta com aproximadamente 9 UNT.

E por fim, os melhores resultados de inativação de Esporos de Bactérias Aeróbias, tem-se no ensaio 3 para doses de D1 e D2, igualmente com 70% de inativação, ambos com 0,52 de log, e turbidez de água bruta com aproximadamente 2,5 UNT.

Mesmo assim, nenhuma das doses aplicadas nos 3 ensaios foram suficientes para ter 1 log de inativação.

Para que se tenham melhores resultados, com inativações próximas a 100% é necessário de métodos combinamos, como Ozônio e radiação ultravioleta ou cloro e radiação ultravioleta, que poderiam obter valores adequados de inativação de microrganismos na água para o consumo humano.

5. CONCLUSÃO

Com relação às variáveis físico-químicas, as doses aplicadas de radiação UV não promoveram diferenças na qualidade da água bruta, com pouca modificação dos valores de pH, temperatura e condutividade elétrica. No entanto, pode ter modificado alguns compostos orgânicos presentes na água bruta, o que acarretou variações nos valores de cor e COT.

Para os melhores resultados de inativação de *E. coli* e coliformes totais, as doses aplicadas não foram as maiores, assim como na dose D2 no ensaio 2, com inativação de 87% e 85%, com log de 0,88 e 0,84, respectivamente. Porém, para a inativação de Esporos de Bactérias Aeróbias (EBA), os melhores resultados foram obtidos no ensaio 3, para doses D1 e D2, igualmente com 70% de inativação e log de 0,52. Todos estes com valores de turbidez baixa.

Os resultados microbiológicos, direta ou indiretamente, podem ter sido afetados pela qualidade físico-química da água bruta utilizada nos ensaios. Com isso, doses menores foram mais eficientes em comparação às doses maiores aplicadas.

E assim, para melhores resultados é necessário otimizar o reator UV e melhorar as condições da água bruta, fazendo novos ensaios com outras águas superficiais ou subterrâneas, também é necessário fazer uma combinação de métodos de desinfecção, ou se ter maiores tempos de contato para inativar os microrganismos, como por exemplo, aos EBA que são mais resistentes a radiação UV, e que poderiam trazer resultados mais significativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Alex Moura de Souza. **AVALIAÇÃO DO EMPREGO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS COM COR E TURBIDEZ MODERADAS**. 2000. 114 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8DYF5S/1/alexmoura115.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

ALVES, Indemberg Araujo. **RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA APLICADA À DESINFECÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS URBANAS**. 2021. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2021.

BARACUHY, Carla Edeltrudes Pontes. **EFEITO BACTERICIDA DA LUZ SOLAR E DE LÂMPADA ULTRAVIOLETA USANDO TiO₂ SOBRE DIFERENTES MATERIAIS SUPORTES**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/3475/3/CARLA%20EDELTRUDES%20PONTES%20BARACUHY%20-%20DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20PPGECA%202007.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2023.

BARBOSA, Maria Gabriella Negromonte; FERREIRA, Weruska Brasileiro. ESTUDO DE TRATABILIDADE EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PILOTO PARA REMOÇÃO DE CISTOS DE GIÁRDIA E OOCISTOS DE CRYPTOSPORIDIUM. **Rede de Saberes II**, Pará, v. 2, n. 1, p. 99-128, jul. 2021.

BARROSO, Lidiane Bittencourt *et al.* RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA DESINFECÇÃO DE ÁGUA. **Disc. Scientia: Ciências Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 1-13, dez. 2009.

BENEDETTI, Stella. **AVALIAÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL NA QUALIDADE DA ÁGUA: APLICAÇÃO NA RADIOFARMÁCIA**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Stella%20Benedetti_M.pdf. Acesso em: 6 nov. 2023.

BRASIL. Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021. **Portaria Gm/Ms**. Brasil, BR, Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 10 nov. 2023.

CAVALHEIRO, Alexandra Lorini. **TECNOLOGIA DE PONTO-DE-USO (POU) PARA DESINFECÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO: REATOR UV-OZÔNIO**. 2023. 103 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental e

Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen, Frederico Westphalen, 2023.

CETESB. **Cloro**: ficha de informação toxicológica. São Paulo: Cetesb, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cloro.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.

COLETTI, Fábio José. **Inativação de microrganismos indicadores presentes em efluentes secundários de esgoto sanitário com radiação ultravioleta**. 2003. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003

DANIEL, Luiz Antonio (org.). **Métodos alternativos de desinfecção da água**: processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2001. 149 p.

DARTORA, E. R. **Avaliação Preliminar da Utilização da Radiação Ultravioleta como Alternativa à Etapa de Desinfecção Microbiológica do Tratamento de Água**. 2020. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235678>. Acesso em: 6 nov. 2023.

FREITAS, D. D. B. **Estudo dos sistemas de cloração da água de abastecimento da Corsan pela instalação de evaporadores de cloro e lavadores de gases**. 2011. 27 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/36913>. Acesso em: 6 nov. 2023.

FUNASA (org.). **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 153 p. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf. Acesso em: 6 nov. 2023.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2010. 1 v.

HILLEBRAND, Felipe José. **CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA EM PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO ATRAVÉS DO USO DA TÉCNICA DO FRACIONAMENTO RÁPIDO**. 2018. 100 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/174968/001066237.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 nov. 2023.

HOWE, Kerry J.; HAND, David W.; CRITTENDEN, John C.; TRUSSELL, R R.; TCHOBANOGLOUS, George. **Princípios de Tratamento de Água**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016. E-book. ISBN 9788522124084. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522124084/>. Acesso em: 13 dez. 2023.

LOBO, Mara Gomes; COSTA, Bruno Passos da; WISBECK, Elisabeth. AVALIAÇÃO DA DESINFECÇÃO DE ÁGUA POR REATOR UTILIZANDO RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 3, n. 1, p. 21-36, maio 2009.

MECHA, A. C.; ONYANGO, M. S.; OCHIENG, A.; MOMBA, M. N. B.. UV and solar photocatalytic disinfection of municipal wastewater: inactivation, reactivation and regrowth of bacterial pathogens. **International Journal Of Environmental Science And Technology**, [S.L.], v. 16, n. 7, p. 3687-3696, 12 ago. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-1950-1>.

MESQUITA, Gabriela de Luzia Barros *et al.* Inativação de coliformes por lâmpadas ultravioletas submersas em águas residuárias. In: DARLY FERNANDO ANDRADE (ed.). **Tópicos em Ciências Agrárias**. Belo Horizonte: Poisson, 2020. p. 124. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ingrid-Nehmi-De-Oliveira/publication/339705144_Teor_de_agua_do_solo_sob_diferentes_plantas_de_cobertura_e_preparo_do_sol_em_area_de_cana-de-acucar/links/61683d913851f9599403ef6d/Teor-de-agua-do-solo-sob-diferentes-plantas-de-cobertura-e-preparo-do-sol-em-area-de-cana-de-acucar.pdf. Acesso em: 5 nov. 2023.

MEYER, Sheila T.. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 99-110, mar. 1994. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-311x1994000100011>.

MONDARDO, Andrei Antonoio. **Estudo dos efeitos da Luz Ultra Violeta para Redução Microbiológica em amido de mandioca**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/794/1/DissertacaoAndreiMondardo.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2023.

MOUNAOUER, Brahmi; ABDENNACEUR, Hassen. Ultraviolet Radiation for Microorganism Inactivation in Wastewater. **Journal Of Environmental Protection**, [S.L.], v. 03, n. 02, p. 194-202, 2012. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2012.32024>.

OLIVEIRA, Keila de Castro. **AVALIAÇÃO DE ESPOROS DE BACTÉRIAS AERÓBIAS COMO VARIÁVEL INDICADORA DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE PROTOZOÁRIOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA EM CICLO COMPLETO**. 2015. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

OMS. **Uma em cada três pessoas no mundo não tem acesso a água potável, revela novo relatório do UNICEF e da OMS -OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/18-6-2019-uma-em-cada-tres-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-revela-novo>. Acesso em: 11 dez. 2023.

ONU. (2015). *Programa da Década da Água da ONU-Água sobre Advocacia e Comunicação (UNW-DPAC)*. Water for life Decade.

PROSAB. **Métodos Alternativos de Desinfecção de Água**. São Carlos: Rima e Artes e Textos, 2001.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de água**. São Paulo: Editora Blucher, 1991. E-book. ISBN 9788521217404. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521217404/>. Acesso em: 13 dez. 2023.

ROSA, Thais Bernardes da Cunha. **ESTUDO DA EFICIÊNCIA DAS LÂMPADAS UV PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA POR BACTÉRIAS TERMOTOLERANTES**. Floral: Prospectiva, 2015. 128 p. Disponível em: <https://www.aacademica.org/repositorio.digital.uemg.frutal/10>. Acesso em: 17 nov. 2023.

ROSCHILD, Caroline Voser Pereira. **TRATAMENTO DE ÁGUA**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas -, 2018. 118 slides, color. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/11/Aula-7-Tratamento-de-%C3%A1gua-Caroline-Voser.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SILVA, Silvia Sônia da. **Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e biofiltro aerado submerso**. 2007. 149 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia, Usp, São Carlos, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-06012008-125103/publico/dissertacao.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

TINÔCO., Juliana Delgado. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica**. 2011. 229 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. <https://doi.org/10.11606/T.18.2012.tde-04052012-093819>.

USEPA (ed.). **Ultraviolet Disinfection**. In: USEPA (org.). **Wastewater Technolgy Fact Sheet**. Washington: Epa, 1999. p. 7.

VELOSA, Adriana Correia de. AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE MANANCIAS. **Holos Environment**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 194, 12 nov. 2015. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v15i2.9629>.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução À Qualidade Das Águas E Ao Tratamento De Esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 238 p.

WHO. **Atlas on Children's Health and the Environment**. Villars-Sous-Yens: L'iv Com Sàrl, 2017. 139 p.

WHO; UNICEF. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020: Five years into the SDGs**. [S. l.], 2021.

WISBECK, Elisabeth; SANDRI, Edgar K; SOARES, Andrea L M; MEDEIROS, Sandra H W. Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta. **Engenharia Sanitaria e**

Ambiental, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 337-342, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522011000400004>.