



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LUCAS ALVES BATISTA PEQUENO

AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE ASSOCIADO À QUALIDADE DA ÁGUA
CONSUMIDA EM ESCOLAS E CRECHES E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE
PASTEURIZAÇÃO SOLAR

RECIFE – PE
FEVEREIRO/2024

LUCAS ALVES BATISTA PEQUENO

AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE ASSOCIADO À
QUALIDADE DA ÁGUA CONSUMIDA EM ESCOLAS E
CRECHES E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE
PASTEURIZAÇÃO SOLAR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente

Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição

Orientador: Prof^a. Dr^a. Marilda Nascimento Carvalho.

Coorientador: Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos.

RECIFE – PE

FEVEREIRO/2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P425a

Pequeno, Lucas Alves Batista

Avaliação do risco à saúde associado à qualidade da água consumida em escolas e creches e proposta de um sistema de pasteurização solar / Lucas Alves Batista Pequeno. - 2024.

137 f. : il.

Orientadora: Marilda Nascimento Carvalho.

Coorientador: Whelton Brito dos Santos.

Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2024.

1. Monitoramento da qualidade da água. 2. Análise de risco. 3. FMEA. 4. Tratamento microbiológico alternativo. 5. SOPAS. I. Carvalho, Marilda Nascimento, orient. II. Santos, Whelton Brito dos, coorient. III. Título

CDD 620.8

LUCAS ALVES BATISTA PEQUENO

AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE ASSOCIADO À QUALIDADE DA ÁGUA
CONSUMIDA EM ESCOLAS E CRECHES E PROPOSTA DE UM SISTEMA DE
PASTEURIZAÇÃO SOLAR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Linha de Pesquisa: Controle e Remediação da Poluição.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2024

Prof^a. Dr^a. Marilda Nascimento Carvalho
Presidente da Banca e Orientadora

Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos
Coorientador

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Elis Gean Rocha
(Universidade Federal de Campina Grande)

Prof^a. Dr^a. Rosângela Gomes Tavares
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Dedico este trabalho a toda população pobre, pessoas LGBTQIAP+, indígenas e PcDs, que todos os dias precisam provar sua capacidade e fazer mais que o necessário para ter o seu lugar garantido e respeitado na sociedade brasileira. O nosso país, apesar de diverso, não tolera a pluralidade. E quem não é tolerado é morto. Mas continuaremos resistindo. A nossa existência é o nosso maior ato de resistência. Resistiremos por nós, pelos nossos que se foram e pelos nossos que virão. E continuaremos ocupando os lugares que por vezes nos foram renegados.

AGRADECIMENTOS

Eu costumo dizer que podemos chegar sozinhos a diversos lugares, mas o caminho é muito mais difícil quando comparado a um percurso realizado com pessoas ao nosso lado que buscam e querem o nosso bem. Por isso, finalizo mais esse ciclo acadêmico com muito o que agradecer a diversas pessoas.

Inicialmente, meus agradecimentos são para o Deus em que acredito e que me guia e me ama incondicionalmente. Em seguida, quero deixar aqui registrado o agradecimento mais sincero e cheio de amor que eu posso dar, à minha mãe Tânia. Esse sonho que se realiza não foi apenas sonhado por mim e não seria possível concretizar sem o apoio da pessoa mais importante da minha vida. Eu repito sempre que as minhas conquistas são tuas também, que os locais em que eu chegar e ocupar são teus também. Se eu posso sair de casa e lutar pelos meus objetivos é porque tu ficas rezando e provendo tudo que for necessário para eu continuar com minhas lutas. A minha jornada em Recife e nesse mestrado só foi possível porque eu sabia que por mais difícil que estivesse, eu tinha um lar para voltar onde eu seria acolhido e sentiria todo o amor que um ser humano merece. Você é o meu maior exemplo de força, resiliência, perseverança, humanidade e doação. Se um dia eu chegar a ter um pouquinho das tuas qualidades, eu me sentirei honrado. Obrigado por nunca largar a minha mão. Obrigado por acreditar em mim mais do que eu mesmo. Obrigado por sonhar comigo mesmo quando parece inalcançável. Você me ensinou a acreditar na educação como meio de transformação social. Fez de tudo para me proporcionar a melhor educação, desde o ensino básico. E conseguiu! Em mim, eu sei que realizas teu sonho de se formar em um curso superior e, por isso, meu título de Mestre também é teu.

Agradeço à minha tia Zefinha (*in memoriam*) que para sempre habitará o meu coração e fará saudade. À minha irmã Taynara pelo cuidado, dedicação e amor que a mim sempre foi ofertado em abundância. Minha família é formada por grandes mulheres, nas quais eu me inspiro e faço questão de honrar por onde eu for. Agradeço também ao meu padrinho Rinaldo e à minha madrinha Valdilene, que são exemplos de seres humanos para mim.

Apesar do meu Deus ter me dado a melhor família possível e cuidar de mim tão bem, o amor Dele é tão infinito que enviou para junto de mim pessoas que são mais que amigos, são meus protetores. Não importa a situação que eu esteja passando, de alegria ou de tristeza, não importa onde eu esteja ou o que eu precise, eu tenho amigos para qualquer situação. Agradeço especialmente a Viviane Soares, Ana Geisa Viana, Virna Melo, Yanka Cunha, Ayrton Natthan,

Cléo Kaluaná, Daniel Bezerra, Diego Paulo, Hebert Figueiredo, Ivila Nunes, Petra Rucielle, Patrícia Pinheiro, Deoclécio Francisco, Dayvid Daniel, Luiz Ricardo, José Jorge, Amanda Torquato e Hemilly Oliveira. Com cada um de vocês eu tenho histórias muito especiais e cada um me ajudou nesse caminho de uma forma diferente. Minha vida não teria sentido e nem significado se vocês não existissem. Eu amo todos vocês!

Todavia, eu não poderia deixar de fazer um agradecimento especial para o meu amigo Moisés Siqueira. Durante os dois anos de mestrado, você esteve presente em todos os dias dessa caminhada, sem nenhuma exceção. Você, com certeza, foi a pessoa que mais ouviu minhas reclamações, acompanhou minhas aflições, me fez sorrir enquanto eu queria chorar e me aconselhou quando eu precisei. Esse mestrado teria sido muito mais difícil sem a sua presença diária. A nossa amizade é extremamente importante e você me ajudou a conquistar esse título de Mestre. Não existe obrigado e nem um “eu te amo” que seja suficiente para expressar o meu sentimento por ti.

Todos esses amigos, eu levei de Campina Grande para Recife em meu coração. Sempre vivi cercado pelo amor dos meus, mas em Recife, foi diferente. Não gosto de romantizar o sofrimento e não o farei, mas apesar de toda as experiencias negativas que eu vivi nesta cidade, eu não poderia deixar de pontuar a parte boa: os amigos que fiz. Sem vocês não teria havido momentos de paz, de risos e de comunhão. Vocês foram meu oásis durante minha travessia no deserto. Obrigado, Mayara Carolino, Laura Julyê e Vitor Valantine. Vocês me acolheram antes mesmo de me conhecerem pessoalmente. Não importa quais caminhos tracemos a partir de agora, vocês estarão para sempre em meu coração. Amo vocês!

Quero agradecer também a Thiago Dias, que foi um dos meus portos seguros em Recife. Apesar de tudo, eu sabia que eu podia contar com você sempre. Obrigado pelos momentos de diversão, carinho e parceria. Você sabe do amor que sinto por ti e este trabalho também é fruto da sua cooperação.

Pontuo um agradecimento especial a Otanildo Amaral que, sem obrigação alguma e com muita boa vontade, me ajudou por diversas vezes na realização de coletas e análises. Você foi essencial para o desenvolvimento desse trabalho. Obrigado pelo companheirismo e conversas no laboratório e no RU. São pessoas como você que tornam o dia a dia melhor. Eu nunca vou esquecer o que fizeste por mim. Conte comigo para o que precisar.

Não poderia deixar de pontuar o meu agradecimento eterno aos amigos e companheiros do LAMSA, laboratório da Universidade Federal de Pernambuco, que me auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho: Marcus Vinicius de Jesus, Cristiane Marcelina de Moraes,

Maria da Conceição (Ceça), Chesque Cavassano Galvão, Felipe Freitas de Alcantara e Romário Silva.

Obrigado à professora e minha orientadora Marilda Nascimento Carvalho por ter me escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa e desde o início do nosso trabalho ter me respeitado e ouvido minhas ideias. Desenvolvemos uma ótima parceria. Desejo que outros estudantes tenham a sorte de trabalhar com alguém tão humana, cuidadosa e atenta como a senhora.

Para além de uma orientadora, eu tive como coorientador um dos meus mais queridos amigos. Agradeço a Whelton Brito dos Santos por ter sido tão paciente, atento e dedicado a mim e ao desenvolvimento deste trabalho. Claramente sem você nada disso teria sido possível. Você foi essencial para o meu mestrado e é essencial para a minha vida. Eu aprendo todos os dias com você e o admiro mais a cada troca que temos. Espero que essa parceria que já dura alguns anos, se eternize.

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE por proporcionar o desenvolvimento do meu sonho. Desta instituição só levarei boas lembranças. Ruralinda, eu te amo!

Obrigado aos professores e servidores do PPEAMB, em especial ao Prof. Genival Barros Júnior, por ter me acolhido no início desta trajetória e ter acreditado em meu potencial. Agradeço à Profa. Rosangela Gomes Tavares por todo o carinho e por ter compartilhado comigo o seu conhecimento. Obrigado também a Walquíria de Brito por ter me tratado com tanto amor, carinho, compreensão e fraternidade. Sua competência no desenvolvimento do seu trabalho me inspira e as nossas conversas sempre me acrescentaram coisas positivas.

Agradeço à Prefeitura Municipal de São Lourenço da Mata, especialmente na figura de Ana Paula Santana, por ter acolhido tão bem a ideia da pesquisa e ter disponibilizado todos os meses um carro para realização das coletas.

Agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE pelo financiamento da bolsa de pesquisa.

Hoje, a criança que habita em mim e que sonhava em fazer mestrado e doutorado pula de alegria. O desejo da pós-graduação é tão forte que por mais obstáculos que eu tenha enfrentado eu sabia que não ia desistir. Desistir do mestrado, seria abandonar o pequeno Lucas, que sofreu tanto na infância para se encontrar no mundo e que não merecia hoje, ter os seus sonhos cancelados. Agora, sigo em direção ao doutorado, na certeza que através da pesquisa, do ensino e da ciência eu vou poder transformar a minha vida e a de outras pessoas.

“A pobreza nunca poderá ser erradicada, ou mesmo grandemente reduzida, enquanto milhões de pessoas não tiverem acesso a água segura”.

(Margaret Chan)

RESUMO

As doenças diarreicas são uma das cinco principais causas de morte de crianças menores de cinco anos em todo o mundo. Por isso, a qualidade da água consumida por alunos das escolas e creches (Estabelecimentos de Ensino - EE) dos municípios brasileiros tem sido objeto de grande preocupação para os gestores. Nesse contexto, o monitoramento físico-químico e microbiológico da água é aspecto fundamental, entretanto, insuficiente. O gerenciamento da qualidade da água, baseado em uma abordagem preventiva de risco, auxilia na garantia da segurança da água para consumo humano. Para além disso, tecnologias sustentáveis de descontaminação local do recurso hídrico, como a Pasteurização Solar (SOPAS), apresenta-se como uma alternativa de tratamento que garante um produto seguro. Dessa forma, essa pesquisa visou realizar o monitoramento da qualidade das águas fornecida aos estabelecimentos de ensino do município de São Lourenço da Mata – Pernambuco - Brasil, e avaliar o risco à saúde associada à água. Ademais, esta pesquisa buscou desenvolver uma solução alternativa, baseada na radiação solar, de tratamento microbiológico adicional para a água tratada que chega aos estabelecimentos de ensino, mas que por causas adversas, é contaminada no percurso. Em todas as instituições as coletas de água para análise foram realizadas no mesmo dia, uma vez por mês, entre março e novembro de 2023. A metodologia empregada para as análises físico-químicas e microbiológicas seguiram o estabelecido pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Na análise de risco foi utilizado o método Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) e desenvolvida as etapas de identificação dos perigos, análise dos efeitos, estimativa dos riscos e avaliação dos riscos. O pasteurizador solar foi construído utilizando uma chapa de alumínio e tubulações prediais soldáveis de água (25, 32, 40 e 50 mm) do tipo PVC revestidas de tinta preta. O SOPAS funcionou em sistema de batelada. Os resultados das análises físico-químicas obtidos apontaram a presença de alumínio e o baixo pH da água como o maior problema do EE1. Em relação ao EE2, a contaminação da água por nitrito e a dosagem de cloro no reservatório sem aporte técnico representam a maior preocupação. A água consumida no EE3 representa uma preocupação em termos de contaminação pelo metal alumínio. Todas esses estabelecimentos de ensino, exceto o EE3, apresentam alta sensibilidade a contaminação microbiológica da água, inclusive o EE4 e EE5, configurando-se como o perigo de maior relevância para a comunidade escolar. Os resultados da avaliação de risco por meio da metodologia FMEA apontaram que as medidas mais urgentes de correções devem estar voltadas para o EE1, EE4 e EE5. Foi verificado que as condições de reservação influenciam na manutenção da qualidade da água. O EE2 e o EE3, que dispõem de reservatórios em locais limpos e protegidos, configuraram-se como os estabelecimentos que dispõem de uma água com menor risco à saúde da comunidade escolar. Para o pasteurizador construído e testado com a água de abastecimento do EE4, verificou-se que a curva que apresentou os melhores resultados durante todo o horário de monitoramento foi referente ao diâmetro de 40 mm, inativando 100% das bactérias do grupo Coliforme. A temperatura de pasteurização para o SOPAS construído e operado dentro das condições experimentais apresentadas foi de 49 °C para um tempo de detenção de 1 hora. Concluiu-se que o monitoramento da qualidade da água dos estabelecimentos de ensino é uma ferramenta importante para subsidiar os gestores de ensino e municipais na tomada de decisões em relação aos sistemas de abastecimento de água e nos cuidados com os reservatórios prediais. Além disso, constatou-se que o SOPAS pode danificar as células microbianas devido à exposição ao calor, inativando a *E. coli* com grande eficiência.

Palavras-chave: Monitoramento da qualidade da água; Análise de risco; FMEA; Tratamento microbiológico alternativo; SOPAS.

ABSTRACT

Diarrheal diseases are one of the five leading causes of death for children under five worldwide. Therefore, the quality of water consumed by students in schools and preschool (educational establishments) in Brazilian municipalities has been an object of great concern for managers. The competence to carry out water quality surveillance actions lies with the Municipal Health Departments, and although the prioritization of surveillance actions is fundamental, resources are often scarce and specialized laboratories are inaccessible to smaller municipalities or those more distant from the capitals. In this context, the physical-chemical and microbiological monitoring of water is a fundamental aspect, however, insufficient. Water quality management, based on a preventive risk approach, helps ensure the safety of water for human consumption. Furthermore, sustainable technologies for local decontamination of water resources, such as Solar Pasteurization (SOPAS), present themselves as a treatment alternative that guarantees a safe product. Therefore, this research aimed to monitor the quality of water consumed in educational establishments in the municipality of São Lourenço da Mata, in the state of Pernambuco – Brazil, and evaluate the health risk associated with the quality of water consumed in the units. Furthermore, this research sought to develop an alternative solution, based on solar radiation, for additional microbiological treatment for treated water that reaches educational establishments, but due to adverse causes, is contaminated along the way. The methodology used for the physical-chemical and microbiological analyzes followed those established by the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In the risk analysis, the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) method was used and the stages of hazard identification, effects analysis, risk estimation and risk assessment were developed. The results of the physical-chemical analyzes obtained pointed to the presence of aluminum and the low pH of the water as the biggest problem with EE1. In relation to EE2, water contamination by nitrite and chlorine dosing in the reservoir without technical support represent the biggest concern. The water consumed in EE3 represents a concern in terms of contamination by aluminum metal. All of these educational establishments, except EE3, are highly sensitive to microbiological contamination of water, including in EE4 and EE5, representing the most relevant danger for the school community. The results of the risk assessment using the FMEA methodology showed that the most urgent correction measures should be aimed at EE1, EE4 and EE5. It was verified that the reservation conditions influence the maintenance of water quality. EE2 and EE3, which have reservoirs in clean and protected locations, were configured as establishments that have water with the least risk to the health of the school community. For the pasteurizer built and tested with the EE4 water supply, it was found that the curve that presented the best results during the entire monitoring period was related to the diameter of 40 mm, inactivating 100% of the bacteria from the Coliform group. The pasteurization temperature for the SOPAS built and operated within the experimental conditions presented was 49 °C for a holding time of 1 hour. It was concluded that monitoring the water quality of educational establishments is an important tool to support educational and municipal managers in making decisions in relation to water supply systems and the care of building reservoirs. Moreover, it was found that SOPAS can damage microbial cells due to exposure to heat, inactivating *E. coli* with great efficiency.

Keywords: Water quality monitoring; Risk analysis; FMEA; Alternative microbiological treatment; SOPAS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva de inativação de microrganismos por pasteurização	53
Figura 2 – Etapas da pesquisa.....	54
Figura 3 – Região Metropolitana do Recife	55
Figura 4 – Localização das instituições monitoradas do município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil.....	58
Figura 5 – Esquema do abastecimento de água do EE1	59
Figura 6 – Bebedouro do EE1	60
Figura 7 – Esquema do abastecimento de água do EE2.....	61
Figura 8 – Local de armazenamento dos garrafões de água mineral fornecidos pela prefeitura municipal de São Lourenço da Mata - PE	61
Figura 9 – Esquema do abastecimento de água do EE3	62
Figura 10 – Esquema do abastecimento de água do EE4.....	63
Figura 11 – Bebedouro do EE4	64
Figura 12 – Caixas d'água no pátio da instituição	65
Figura 13 – Edificação para proteção da caixa d'agua superior	65
Figura 14 – Esquema do abastecimento de água do EE5	66
Figura 15 – Pontos de coleta (Ponto de consumo) do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)	67
Figura 16 – Ponto de coleta (Reservatório inferior) do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)	68
Figura 17 – Esquema do protótipo do pasteurizador solar	74
Figura 18 – Pasteurizador Solar.....	74
Figura 19 – Planta baixa do pasteurizador solar.....	75
Figura 20 – Vista lateral do pasteurizador solar	75
Figura 21 – Estrutura de suporte.....	76
Figura 22 – Medição da temperatura da água dentro da tubulação	77
Figura 23 – Variabilidade dos dados de pH no reservatório inferior e no ponto de consumo do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)	79
Figura 24 – Variabilidade dos dados de cloro residual livre no reservatório inferior e no ponto de consumo do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)	82
Figura 25 – Variabilidade dos dados de cor aparente no reservatório inferior e no ponto de consumo do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E).....	85
Figura 26 – Reservatórios com tampas danificadas no EE5	87
Figura 27 – Variabilidade dos dados de turbidez no reservatório inferior e no ponto de consumo	

do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)	89
Figura 28 – Resultados de Coliformes totais do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)	92
Figura 29 – Resultados de <i>E. coli</i> do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E).....	93
Figura 30 – Resultado da temperatura da água e da concentração de Coliformes totais ao final de cada hora de operação para os diâmetros de 25, 32, 40 e 50 mm.....	112
Figura 31 – Resultado do tratamento do SOPAS às 14:00 horas para os diâmetros de 25, 32, 40 e 50 mm	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de escores para os aspectos analisados.....	72
Tabela 2 – Classificação do risco	73
Tabela 3 – Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos para o Reservatório	95
Tabela 4 – Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos para o Ponto de Consumo	95
Tabela 5 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE1	105
Tabela 6 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE2.....	105
Tabela 7 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE3.....	105
Tabela 8 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE4.....	106
Tabela 9 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE5.....	106
Tabela 10 – Resultado da classificação do risco à saúde da água dos Estabelecimentos de Ensino	107
Tabela 11 – Hierarquização dos perigos – Parte I.....	110
Tabela 12 – Hierarquização dos perigos – Parte II.....	111
Tabela 13 – Melhores resultados do tratamento no SOPAS	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do FMEA	44
Quadro 2 – Quadro resumo das características dos Estabelecimentos de Ensino	66
Quadro 3 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água monitorados e suas respectivas metodologias	69
Quadro 4 – Formulário FMEA preenchido - Parte I	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo geral.....	20
2.2	Objetivos específicos.....	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1	Relação ambiente e saúde	21
3.2	Meio ambiente e Política Ambiental	22
3.2.1	Acordos Internacionais	25
3.2.2	Legislações Ambiental Brasileira	27
3.2.3	Padrões de potabilidade da água no Brasil	28
3.2.4	Lei de Crimes Ambientais	30
3.2.5	Saneamento básico no Brasil e a Lei nº 14.026/2020.....	32
3.3	Doenças de veiculação hídrica	36
3.3.1	Doenças diarreicas causadas por vírus	38
3.3.2	Doenças diarreicas causadas por protozoários	38
3.3.3	Doenças diarreicas causadas por bactérias	40
3.4	Planos de Segurança da Água	43
3.4.1	Análise de Risco	43
3.5	Métodos de desinfecção da água para consumo humano	45
3.5.1	Desinfecção química.....	46
3.5.2	Desinfecção física.....	48
3.6	Desinfecção alternativa da água por radiação solar: SODIS e SOPAS.....	49
4	METODOLOGIA	54
4.1	Caracterização da área de estudo	54
4.2	Seleção e caracterização dos estabelecimentos de ensino.....	57
4.2.1	Estabelecimento de Ensino 1 (EE1)	58
4.2.2	Estabelecimento de Ensino 2 (EE2)	60
4.2.3	Estabelecimento de Ensino 3 (EE3)	61
4.2.4	Estabelecimento de Ensino 4 (EE4)	62
4.2.5	Estabelecimento de Ensino 5 (EE5)	64
4.3	Avaliação da qualidade da água dos estabelecimentos de ensino	67
4.3.1	Análise dos dados	70

4.4	Análise de Risco	70
4.4.1	Planejamento.....	71
4.4.2	Análise de falhas em potencial	71
4.4.3	Avaliação dos riscos	71
4.4.4	Classificação qualitativa do risco	72
4.5	Desenvolvimento do sistema de pasteurização solar (SOPAS).....	73
4.5.1	Construção do sistema	73
4.5.2	Condições operacionais	76
4.5.3	Monitoramento do sistema	77
4.5.4	Análise dos dados	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1	Monitoramento da qualidade da água.....	79
5.1.1	pH	79
5.1.2	Cloro residual livre	82
5.1.3	Cor aparente.....	85
5.1.4	Turbidez.....	89
5.1.5	Coliformes totais.....	91
5.1.6	<i>Escherichia coli</i>	92
5.1.7	Demais parâmetros físico-químicos	95
5.2	Análise de risco	100
5.3	Monitoramento do SOPAS	112
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
7	REFERÊNCIAS	122

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história do homem, percebe-se que as populações sempre buscaram se fixar próximos a corpos d'água, estruturando as cidades em áreas adjacentes à corpos hídricos, que são eixos de desenvolvimento do desenho dos centros urbanos. Todavia, a ausência de práticas conservacionistas voltadas à sustentabilidade ambiental vem desencadeando severos problemas ao meio ambiente, com destaque para a erosão, a perda de qualidade dos solos, a alteração da cobertura vegetal, bem como à redução de oferta hídrica e da qualidade da água (Andrade *et al.*, 2018). A poluição de rios, lagos, lagoas, açudes e riachos, portanto, é uma realidade constante na história, desde o momento em que o homem procurou fixar residência.

O acesso à água potável, adequada ao consumo, é um dos pilares para a promoção da saúde e do bem-estar. Os maiores desafios na atualidade para a garantia de água em quantidade e qualidade necessárias para boas condições de vida da população são as variações climáticas e os lançamentos de efluentes sem tratamento nos corpos hídricos. Os despejos de efluentes causam a entrada contínua e elevada de matéria orgânica, que promovem o processo de eutrofização do corpo aquático, comprometendo toda a biota do sistema e aumentando o grau de complexidade do tratamento da água, além da necessidade de um monitoramento contínuo para garantir a potabilidade desta. Ademais, a falta de políticas públicas que denotem modelos de gestão de recursos hídricos que se comuniquem representa um entrave no processo de universalização dos serviços de saneamento (Pequeno *et al.*, 2023).

O Art. 200 da Constituição Federal Brasileira atribui ao Ministério da Saúde a elaboração de Portarias que dispõem sobre os padrões de qualidade da água e atribui ao Sistema Único de Saúde (SUS) a responsabilidade na execução de ações de vigilância e fiscalização das águas destinadas ao consumo humano (Brasil, 1988). Após dez anos, o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5 de 28 de setembro de 2017 (PRC nº 5/2017), que trata dos padrões de potabilidade de água para consumo humano foi alterado em 04 de maio de 2021 pela Portaria GM/MS nº 888 (Brasil, 2021) e em 28 de setembro de 2021 pela Portaria GM/MS nº 2.472 (Brasil, 2021).

A Portaria de potabilidade em vigor (Anexo XX da PRC nº 5/2017) explicita nos Art. 12 e 13 que a competência em exercer as ações de vigilância da qualidade da água são das Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal e das Secretarias de Saúde dos Municípios e do Distrito Federal, cada uma em sua área de atuação. Dentre as responsabilidades das Secretárias Municipais, cabe citar, a realização de inspeção sanitária nas formas de

abastecimento de água para o consumo humano. Para mais, dentro da sua área de competência, as Secretarias Estaduais ou Municipais podem elaborar, quando necessário, diretrizes e normas complementares aos padrões nacionais em relação à vigilância da qualidade da água (Brasil, 1988).

No documento intitulado “Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano”, o Ministério da Saúde afirma sobre a responsabilidade dos municípios em definir o respectivo plano de amostragem da vigilância da qualidade da água (Brasil, 2016). Para além disso, o gerenciamento baseado em uma abordagem preventiva de risco, auxilia na garantia da segurança da água para consumo humano (Brasil, 2012).

Embora a priorização das ações de vigilância da qualidade da água seja fundamental, muitas vezes os recursos são escassos. Os laboratórios especializados em análises dos parâmetros de água para potabilidade normalmente são inacessíveis aos municípios menores ou mais distantes das capitais. Por outro lado, a qualidade da água consumida por alunos e trabalhadores das escolas e creches públicas (estabelecimentos de ensino) dos municípios brasileiros tem sido objeto de grande preocupação para a maioria dos gestores dos estabelecimentos de ensino, especialmente porque as crianças são normalmente mais vulneráveis a doenças de veiculação hídrica, já que possuem o sistema imunológico imaturo.

Cohen *et al.* (2022) declaram que a diarreia é uma das cinco principais causas de morte de crianças menores de cinco anos no mundo, sendo mais de mil óbitos por dia. No Brasil, em 2022, cerca de 82 mil pessoas foram internadas por diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível (CID A09), sendo cerca de 25 mil crianças menores de 4 anos e um pouco mais de 10 mil internações, de crianças entre 5 e 9 anos (Datusus, 2023). Veras *et al.* (2022), apontaram que entre 2012 e 2020, nas regiões Nordeste e Norte, houve uma redução dos gastos com internações devido a diarreias. Em contrapartida, nesse mesmo período, houve uma redução dos repasses federais para internações e tratamentos voltados as diarreias. Assim, a diminuição do valor repassado para as internações, refletiu na diminuição do número de leitos disponibilizados, medicamentos e materiais para a assistência médica. Desse modo, os dados de internação não refletem a quantidade de casos reais de doenças diarreicas.

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016) sinalizou que um serviço de saneamento de maior qualidade em conjunto com práticas de higiene adequadas são eficazes para alcançar grandes ganhos na saúde da população quando comparado com a existência de apenas saneamento a um nível mais básico e, portanto, devem ter um lugar de maior destaque

em qualquer agenda para o desenvolvimento futuro.

Por esse motivo, dentre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), encontra-se o ODS 6, o qual visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, além de saneamento para todos (PNUD Brasil, 2016).

Em muitos casos, a contaminação da água acontece ao longo das adutoras, reservatórios e redes de distribuição, que levam a água tratada das estações de tratamento até os pontos de consumo, estabelecimentos de ensino e residências, por exemplo. Fissuras e falta de manutenção da canalização são justificativas para essa situação. Todavia, a contaminação pode ocorrer nas cisternas, caixas d'água ou bebedouros das próprias instituições, cuja manutenção e limpeza não é realizada ou é feita de maneira inadequada.

Sendo assim, o percurso que a água faz até chegar às localidades e os compartimentos onde são armazenadas é uma preocupação importante, principalmente no que se refere à contaminação microbiológica. Um método viável e sustentável para realizar a desinfecção da água nos pontos de consumo, sobretudo no nordeste brasileiro, onde predomina-se maiores índices e períodos anuais de insolação direta, é a Pasteurização Solar (SOPAS). Essa tecnologia consiste em um tratamento físico em que a água é aquecida e mantida por um intervalo de tempo a uma determinada temperatura, de modo que os indicadores de contaminação microbiológica são inativados. Vale ressaltar que a água não necessariamente precisa ser fervida para que haja a inativação dos indicadores de contaminação biológica, o que possibilita a utilização da energia solar no processo (Cerqueira *et al.*, 2021).

Nessa perspectiva, a presente dissertação faz parte de um projeto submetido e aprovado pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), com o número de processo IBPG-0689-3.07/22, que visa realizar o controle da qualidade das águas fornecidas às escolas e creches do município de São Lourenço da Mata – PE, com o intuito de evitar o comprometimento da saúde dos usuários dos estabelecimentos de ensino. Para além disso, esta pesquisa busca desenvolver uma solução alternativa, baseada na radiação solar, de tratamento microbiológico adicional para a água tratada que chega aos estabelecimentos de ensino, mas que por alguma causa adversa, foi contaminada no percurso. Vale salientar, que este é o primeiro estudo realizado em parceria com a Secretaria de Educação de São Lourenço da Mata, com o intuito de avaliar a qualidade da água das unidades de ensino do município.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o risco à saúde associada à qualidade da água fornecida para as escolas e creches (estabelecimentos de ensino) do município de São Lourenço da Mata, no estado de Pernambuco, e propor um sistema de pasteurização solar (SOPAS) que promova a segurança microbiológica da água.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a qualidade da água de abastecimento de estabelecimentos de ensino;
- Aplicar uma metodologia de avaliação de risco para identificar e quantificar os perigos à saúde associados à água fornecida aos estabelecimentos de ensino;
- Desenvolver e avaliar a eficiência de um sistema SOPAS na inativação de microrganismos por meio de parâmetros construtivos e condições ambientais.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Relação ambiente e saúde

Por muito tempo, acreditou-se que todas as doenças que acometem o ser humano surgiam a partir da inalação do ar de regiões insalubres. Esta visão ficou conhecida como “Teoria dos Miasmas” e, apesar de atualmente já ter sido superada, considera-se como o primeiro passo no entendimento da relação ambiente e saúde (Pereira; Silva, 2017). No início do século XIX, durante o período da Primeira Revolução Industrial na Inglaterra, percebeu-se que as ações humanas sobre o meio causam profundas alterações neste, podendo resultar na contaminação do ar, da água e do solo. Neste contexto, por exemplo, a partir de meados de 1830, registrou-se uma epidemia de cólera, tendo sido confirmado o primeiro caso na Inglaterra. Após o trabalho do médico inglês John Snow, constatou-se que a doença que dizimou milhões de pessoas era devida à falta de adoção de medidas de saneamento. Neste caso, a Teoria dos Miasmas não se aplicava, pois a doença tinha origem no contato com a água contaminada pela bactéria *Vibrio cholerae*.

Até o início do século XX, a maioria dos cientistas ainda acreditavam que o planeta era uma fonte inesgotável de recursos e com capacidade de se recuperar naturalmente das intervenções humanas. Pereira e Silva (2017) apontaram que essa visão sobre o meio ambiente começou a mudar a partir do ano de 1962, quando Rachel Louise Carson publica nos Estados Unidos o livro “Primavera Silenciosa”. Este denunciava os perigos do uso de pesticidas, tanto no ambiente, quanto na saúde das pessoas. Esta publicação impulsionou os movimentos ambientalistas que se disseminaram ideias conservacionistas pelo mundo.

No contexto de análise dos impactos à natureza e à saúde das pessoas devido aos modelos econômicos e sociais vigentes, em 1972 ocorre a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano em Estocolmo. Nesta se discutiu como o crescimento desordenado das cidades estava impactando o bem-estar das populações e a manutenção de um meio ambiente equilibrado. Destas discussões, destacou-se a necessidade de promover o contínuo abastecimento adequado da água, em qualidade e em quantidade, para as populações do globo. Como consequência desse evento, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pereira; Silva, 2017).

A partir do momento em que as questões ambientais passaram a ser pauta importante entre os governos, o acesso à água tornou-se tema central nessas discussões. Este processo

pode ser verificado na construção de diversos acordos e tratados internacionais ao longo das últimas décadas que destacam os riscos e perigos relacionados a água; em outras palavras, a relação entre meio ambiente e saúde.

3.2 Meio ambiente e Política Ambiental

O meio ambiente pode ser interpretado de diferentes formas, permeando por definições acadêmicas, como a visão antropocêntrica e biocêntrica, ou definições jurídicas, como a forma na qual a Política Nacional de Meio Ambiente (Brasil, 1981) apresenta esse conceito. Todavia, a definição utilizada irá depender da orientação de quem está realizando o estudo ou a intervenção no meio.

Monteiro, Pontes e Wienke (2018) afirmam que o liberalismo político, principalmente após os avanços tecnológicos e científicos da Revolução Industrial e da Pós-Revolução Industrial, inaugurou uma exploração dos bens ambientais pautada numa lógica privatista, sem precedentes. A relação entre o homem e a natureza passou a se basear no aproveitamento abusivo e sem controle dos recursos naturais, de forma a colocar o estoque destes em risco para as futuras gerações.

Neste aspecto, Gudynas (2020) aponta que a estrutura econômica convencional não assegura a proteção da biodiversidade, pois está baseada na superexploração dos recursos naturais e na minimização dos seus efeitos. Esta perspectiva leva ao entendimento do meio ambiente antropocêntrico. O homem controla e manipula a natureza em função de sua utilidade econômica, o que o autor chama de “visão utilitarista dos recursos naturais”. Dessa forma, o ponto de partida é o ser humano, estando a natureza para servi-lo.

As discussões recentes sobre sustentabilidade, principalmente a partir da metade da década de oitenta, também partiram de uma ideia antropocêntrica, pois as estratégias pensadas e por vezes praticadas, são centralizadas na concepção de melhorar as condições de vida do ser humano. O conceito de sustentabilidade dista da visão ecocêntrica ou biocêntrica, já que não objetiva garantir a existência de todos os seres vivos que habitam a Terra, mas sim aplicar os melhores modelos econômicos e ambientais de exploração do meio biótico e abiótico para garantir a existência da humanidade.

No Brasil, nos últimos anos, as questões ambientais foram relegadas, de modo que a apropriação intensiva da natureza foi controlada a partir da monetização dos recursos naturais. Observou-se uma relativa incapacidade de conciliação do mercado com a conservação

ambiental. Dessa maneira, Gudynas (2020) defende o entendimento da natureza como sujeito. O reconhecimento dos direitos da natureza, da mesma forma que os direitos dos seres humanos, reformula a criação e a gestão de políticas ambientais. Portanto, devido à visão antropocêntrica da natureza, que ainda se constitui na forma dominante de atuação, as ciências ambientais não podem continuar a se restringir apenas aos aspectos biológicos do meio ambiente, é necessário incorporar seus aspectos éticos e as relações com gestão e política, para que assim a crise ambiental possa ser enfrentada consistentemente.

Uma abordagem biocêntrica surge como uma via inovadora de proteção ambiental que poderá funcionar como forma complementar à visão antropocêntrica, ou como ideia principal (Neves, 2019). Partindo do pressuposto que a espécie humana faz parte do meio ambiente, a visão biocêntrica aponta que todas as formas de vidas são mantidas devido a relação entre as espécies e destas com o biótopo. Assim, a vida, independente de qual seja, é o ponto de partida ou a referência básica para qualquer ação. Essa é a visão defendida neste trabalho, no qual levantará todos os aspectos ambientais relacionados ao objeto de estudo.

Dessa forma, visando controlar os possíveis impactos negativos da exploração do meio ambiente e organizar a relação da sociedade com esse meio, a legislação ambiental define o meio ambiente a partir da lógica jurídica. Diferente de outros conceitos, na visão jurídica o meio ambiente é regido por leis, as quais também são criadas pelo homem, e assim, podem ser facilmente construídas para colocar a vida humana como ponto de partida. Todavia, a própria natureza tem as suas leis; portanto, entender o meio natural como um sujeito dotado de direitos evitaria que a visão jurídica fosse apenas mais um viés paradigmático antropocêntrico que engendra valores os quais se constituem como obstáculos à proteção ambiental (Dornelles; Linz; Damázio, 2020).

Hardin (1968, p. 1244) afirma que a “ruína é o destino para o qual todos os homens correm, cada um perseguindo seu próprio interesse, em uma sociedade que acredita na liberdade dos bens comuns”. O autor defende que os bens de livre acesso podem acarretar a “Tragédia dos Comuns”. Em outras palavras, existe um ambiente de liberto ádito, no qual a sociedade se apropria na sua máxima capacidade de suporte, diminuindo ou degradando completamente o referido bem, gerando prejuízos sociais, ambientais e econômicos para a própria sociedade. Lemos e Daund (2021) compartilham do mesmo pensamento ao afirmarem que o “comportamento ético das pessoas está ameaçando a própria sobrevivência da vida e da humanidade no planeta Terra, em decorrência da prevalência das questões econômicas sobre a nossa própria convivência com o meio ambiente”.

Neste sentido, devido essas ações insustentáveis para com a natureza, mudanças nos valores humanos ou ideias de moralidade seriam uma solução para que a miséria da população não se intensifique (Hardin, 1968). Na sociedade contemporânea, observa-se que as soluções para reverter ou impedir a “Tragédia dos Comuns” são, em sua grande maioria, as de natureza normativa/legal; ou seja, a criação de leis e normas para regular a utilização e a forma de relação da sociedade com o meio ambiente. Assim, a conduta ética das pessoas é, em parte, governada pelas leis criadas pelos próprios homens. Nesse contexto, a manutenção da boa qualidade da água é governada por leis que tem abrangência jurídica nas três esferas institucionais: federal, estadual e municipal. Este processo ocorre principalmente nos reservatórios destinados ao abastecimento humano, visto a necessidade do prévio tratamento dessa água, deixando-a potável para o consumo.

O setor de saneamento deve promover a melhoria da qualidade de vida da população, utilizando os recursos naturais de maneira ambientalmente equilibrada e economicamente eficiente. Visto que os problemas são interligados, é necessário que a visão sobre o saneamento seja integrativa e orgânica, evitando uma compreensão de forma fragmentada. O entendimento da água como um recurso natural finito e dotado de valor econômico deve fazer com que todos os atores envolvidos à utilizem de forma a maximizar o bem-estar social, produzindo uma água tratada, com a máxima eficiência e o consumo sem desperdícios (Shubo, 2003; Ferreira; Cunha, 2005).

Neste contexto, a visão mercadológica do recurso hídrico é uma política nociva à sobrevivência humana. É necessário entender que o acesso à água potável é um direito humano, bem de uso comum, imprescindível à manutenção da vida. Portanto, este deve ser entendido para além de um insumo do processo produtivo (Yamamoto; Pereira; Alcântara, 2020; Ferreira; Gomes; Dantas, 2021). Assim, o gerenciamento dos recursos hídricos deve levar em consideração a relação entre o âmbito social, econômico e ambiental, que estabelece o preceito do *triple bottom line* (TBL). Os três pilares da sustentabilidade têm como objetivo reduzir os impactos ambientais, gerar riqueza e atender aos anseios sociais (Barbieri *et al.*, 2010; Amaral; Stefano; Chiusoli, 2018).

Por outro lado, a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) incorporou mais um pilar ao termo “sustentabilidade”. Além do TBL, a dimensão “governança” é indicada como termo chave na implantação de políticas ambientais e de desenvolvimento. Uma boa governança seria capaz de aumentar a eficiência e a legitimidade na elaboração e na operação dessas políticas. O processo de governança envolve múltiplas categorias de instituições sociais

públicas e/ou privadas, organização de terceiro setor e a sociedade, de uma forma geral. Nesse sentido, a noção de governança deve expressar questões relevantes às coletividades, nas quais deve prevalecer o bem comum.

3.2.1 Acordos Internacionais

Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, aconteceu a “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD)”, encontro que reuniu 179 chefes de Estado. Este evento foi promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU) e ficou mais conhecido como Rio 92. Este objetivou discutir um novo modelo de sociedade para o século XXI, pautada na sustentabilidade. Como fruto da Conferência, os países membros assinaram um acordo chamado de “Agenda 21 Global”. Consta em tal documento 40 capítulos, sendo definido como “um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica” (CNUMAD, 1992).

O capítulo 6 da Agenda 21 Global, intitulado “Proteção e promoção das condições da saúde humana”, aponta a questão do processo da transformação do meio ambiente e as consequências na saúde humana, tendo como área de atuação a redução dos riscos para a saúde decorrentes da poluição e dos perigos ambientais.

O crescimento urbano deixou para trás a capacidade da sociedade de atender às necessidades humanas, deixando centenas de milhões de pessoas com rendimentos, dietas, moradia e serviços inadequados. Além de expor as populações a sérios riscos ambientais, o crescimento urbano deixou as autoridades municipais e locais sem condições de proporcionar às pessoas os serviços de saúde ambiental necessários (CNUMAD, 1992, cap. 6. p.11).

Já o capítulo 18 da Agenda 21 Global apresenta a preocupação mundial em relação à qualidade da água. Intitulado “Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos”, propõe as bases para ações, objetivos, atividades, meios de implementação para diversas áreas do setor de água doce, como o abastecimento de água potável e o saneamento.

No ano de 2000, a ONU estabeleceu oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com o apoio de 191 nações. Dentre eles, destaca-se o ODM 7 que trata da “qualidade de vida e respeito ao meio ambiente”. O ano limite para alcançar esses objetivos foi 2015. Os ODM foram produzidos por um grupo de especialistas “a portas fechadas” e tinham como

ênfase apenas uma agenda social. Além disso, os ODM tinham como prioridade os países em desenvolvimento, particularmente os mais pobres.

Levando em consideração que o mundo passou por mudanças significativas desde os anos 2000, a comunidade internacional começou a pensar em um ideário para suceder os ODM. Em 2010, buscou-se novos objetivos que fornecessem uma base para lidar com os antigos desafios que se intensificaram. Novas complexidades surgiam, incluindo a erradicação da pobreza, o fim da mudança global do clima, o combate ao desemprego e o enfrentamento da desigualdade de gênero (PNUD Brasil, 2016).

Em 2012, na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio +20), os países estabeleceram um grupo aberto de trabalho para formular um conjunto de objetivos voltados ao desenvolvimento sustentável, que iria consolidar ações apropriadas. Deste modo, em 2015, os 193 países-membros das Nações Unidas consolidaram uma nova agenda. Em setembro, na cidade de Nova York, foi realizada a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. Neste evento, foram acordados “Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (ODS), que fazem parte de um documento maior, a Agenda 2030. Segundo o relatório “Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável”, de maneira geral, os objetivos pretendem:

[...] acabar com a pobreza e a fome em todos os lugares, até 2030; combater as desigualdades dentro dos países e entre eles; construir sociedades pacíficas, justas e inclusivas; proteger os direitos humanos e promover a igualdade de gênero [...]; e assegurar a proteção duradoura do planeta e de seus recursos naturais. [...] criar condições para o crescimento sustentável, inclusivo e economicamente sustentado, a prosperidade compartilhada e o trabalho decente para todos, tendo em conta os diferentes níveis de desenvolvimento e as capacidades nacionais (PNUD Brasil, 2016, p. 3).

Os ODS são o resultado de um processo de negociação entre os 193 países-membros da ONU, com a participação sem precedentes da sociedade civil e de outros grupos interessados. Isso levou à representação de uma grande variedade de interesses e perspectivas. Portanto, os ODS são mais amplos em seu alcance, pois abordam os elementos interligados do desenvolvimento sustentável: crescimento econômico, inclusão social e proteção ao meio ambiente. Em contraponto aos ODM, os ODS aplicam-se a todos os países, desenvolvidos ou em desenvolvimento (PNUD Brasil, 2016). No total, foram estabelecidos 17 objetivos.

O ODS 6, por exemplo, visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, além do saneamento para todos. A água desempenha papel sociocultural, proporcionando

dignidade humana para que outras lutas sociais sejam travadas. Considerando que a universalização dos serviços de saneamento ainda é uma realidade distante e repleta de desafios em várias partes do mundo, a concretização desse objetivo é essencial para que os outros propósitos do desenvolvimento sustentável sejam alcançados. Os ODS 2 - acabar com a fome, ODS 3 - assegurar uma vida saudável a todas as pessoas e ODS 10 - reduzir a desigualdade dentro dos países e entre estes, são exemplos da correlação com o ODS 6.

3.2.2 Legislações Ambiental Brasileira

A Constituição Federal Brasileira de 1988 (Brasil, 1988) ficou conhecida como “Constituição Cidadã” por ter sido elaborada com a participação de diversos setores da sociedade. Esta foi a primeira Constituição Brasileira a tratar das questões relacionadas ao contexto do meio ambiente natural e antrópico e a relação entre estes, principalmente por meio do Art. 225, o qual afirma que todos os cidadãos brasileiros têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, que garanta saúde e qualidade de vida para as atuais e futuras gerações. Todavia, a temática do meio ambiente perpassa por outros artigos. Neste sentido, a conservação dos ambientes aquáticos e da qualidade da água está presente de maneira direta e indireta, ao longo de todo o texto da Constituição.

O Art. 20 da Constituição (Brasil, 1988) afirma que são bens da União as águas continentais que banhem mais de um estado e o mar territorial. É competência da União legislar sobre essas águas, conforme o Art. 22. Em sequência, o Art. 23 aponta a responsabilidade comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em combater a poluição, em qualquer das suas formas, incluindo-se a poluição hídrica. A Constituição Federal implicitamente traz no Art. 170 a questão do desenvolvimento de uma sociedade sustentável. Apesar de não utilizar este termo, o referido artigo afirma que a ordem econômica vigente deve garantir justiça social e defesa do meio ambiente. Logo, observa-se o preceito do *triple bottom line* (TBL) no Art. 170. Essa ideia ainda é reforçada no Art. 174, parágrafo 1º, ao falar sobre o “planejamento do desenvolvimento nacional equilibrado”.

O Art. 200 desta Constituição, que disserta sobre as competências do Sistema Único de Saúde (SUS), atribui a este a responsabilidade na participação de políticas de saneamento básico, bem como, executar ações de vigilância sanitária, fiscalizando as águas para consumo humano (Brasil, 1988). Por esse motivo, é de competência do Ministério da Saúde a elaboração das Portarias que dispõe sobre os padrões de qualidade da água.

Em 31 de agosto de 1981, foi sancionada a Lei nº 6.938 (Brasil, 1981), conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente. O Art. 3 desta Lei define o meio ambiente como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. A racionalização do uso da água está descrita como um dos princípios da Política no Art. 2. Dentre deste contexto, se enquadra a necessidade de padrões de qualidade da água e de políticas ambientais voltadas para o setor. O Art. 9 estabelece os padrões de qualidade ambiental como um dos instrumentos da Lei. Assim, cabe ao Ministério da Saúde emitir normas que preconizem os parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem analisados para as águas de abastecimento público.

3.2.3 Padrões de potabilidade da água no Brasil

A qualidade da água no Brasil passou a ser tema de preocupação geral no início do século XX. Dessa forma, em 1920, foi criado o Departamento Nacional de Saúde Pública (DNSP) e a organização dos serviços de saúde no país (Alves *et al.*, 2021). No entanto, só no ano de 1970 atribuiu-se ao Ministério da Saúde a função do controle da qualidade da água. Todavia, a primeira norma com os padrões de potabilidade para a água foi criada apenas em 1977. Tratava-se da Portaria nº 56 Bsb, de 14 de março de 1977 (Freitas; Freitas, 2005).

A Portaria n.º56/Bsb/1977 estabelecia o padrão bacteriológico, físico-químico e radiológico que água deveria ter para ser considerada potável. O padrão físico era constituído por cor turbidez, odor e sabor e o padrão químico por 20 elementos e substâncias químicas inorgânicas e 13 substâncias químicas orgânicas, divididos em biocidas orgânicos sintéticos hidrocarbonetos clorados e compostos organofosforados e carbamatos (...) O padrão bacteriológico definia limites apenas para bactérias do grupo Coliforme, estabelecendo o máximo permitido em função dos resultados realizados no plano de amostragem (Alves *et al.*, 2021, p.7).

Em 1988, numa reunião com todas as Secretarias de Saúde do Brasil as empresas estaduais de saneamento e os órgãos de controle ambiental, foi decidido que era necessário rever os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 56/Bsb/1977. Assim, em 1990, o Ministério da Saúde publicou a Portaria 36 GM/1990. Dentre os avanços contidos nesta nova Portaria, cabe destacar que além do padrão para bactérias do grupo Coliforme, foi adicionada a exigência de ausência para coliformes fecais ou coliformes termotolerantes. Também foi adotado um limite para o pH da água a ser consumida (Alves *et al.*, 2021).

Dez anos depois, em 2000, a Portaria de potabilidade foi novamente revisada. Todavia, a Portaria 36 GM/1990 previa que essa revisão deveria ter acontecido com cinco anos, ou seja,

no ano de 1995. Em 29 de dezembro de 2000, foi publicada a Portaria nº 1.469 (Brasil, 2000), estabelecendo os padrões de potabilidade da água para consumo humano. Esta Portaria se destacou por ter proporcionado a aplicação de consultas públicas em diversos setores da sociedade, além da participação de entidades dos setores público, privado e de organizações não-governamentais. Dentre os destaques desta versão, cabe ressaltar a classificação dos tipos de sistemas de abastecimento de água em sistema coletivo e sistema ou solução alternativa de abastecimento de água. Também merece destaque a adição da preocupação com as cianobactérias e cianotoxinas, além das recomendações a respeito da remoção de cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium sp.*, a partir da melhoria da eficiência no processo de filtração (Freitas; Freitas, 2005).

Frisa-se que anos antes, em 1996, aconteceu em Caruaru, no estado de Pernambuco, uma tragédia envolvendo cianotoxinas. Cerca de sessenta pacientes com doenças renais vieram a óbito após uma sessão de hemodiálise. Profissionais da saúde do mundo inteiro estiveram em Caruaru e confirmaram que as mortes foram provocadas por uma toxina chamada microcistina, liberada pelas cianobactérias presentes na água, usada na hemodiálise. Essa tragédia foi uma das precursoras para a ocorrência de mudanças nos padrões microbiológicos de potabilidade da água.

Em 25 de março de 2004, a Portaria nº 1.469 (Brasil, 2000) foi revogada e substituída pela Portaria GM/MS 518 (Brasil, 2004), que transferida da FUNASA para a SVS - Secretaria de Vigilância em Saúde a competência de legislar e fazer cumprir a legislação sobre potabilidade da água para consumo humano (Alves *et al.*, 2021).

Já em 2011, entra em vigor a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (Brasil, 2011), frente aos novos desafios da sociedade no campo saúde e meio ambiente. Dentre as principais mudanças, estabeleceu a relação de tempo de contato da água com o desinfetante. Adotou também, um teor mínimo de Cloro Residual Livre, Cloro Residual Combinado e Dióxido de Cloro a ser mantido na rede de distribuição. Frente a um processo de degradação maior dos corpos hídricos utilizados para o abastecimento, a Portaria definiu um valor mais rígido para a água filtrada por filtração rápida. O máximo permitido passou a ser de 0,5 uT, a portaria anterior estabelecia 1,0 uT.

Em 2017, todo o texto da Portaria nº 2.914, passa a fazer parte do Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017 (PRC nº 5/2017); ou seja, não trouxe alterações nos parâmetros de potabilidade (Brasil, 2017).

Após dez anos, o Anexo XX da PRC nº 5/2017, que trata destes padrões de potabilidade

de água para consumo humano, foi alterado em 04 de maio de 2021 pela Portaria GM/MS nº 888 (Brasil, 2021) e em 28 de setembro de 2021 pela Portaria GM/MS nº 2.472 (Brasil, 2021). Bastante esperada por especialistas e trabalhadores da área do saneamento, a Portaria ainda enfrenta muitos questionamentos em relação à efetividade nas ações de segurança da água em relação as realidades e desafios de cada localidade do país. Dentre os aspectos mais importantes, destaca-se que:

[...]introduz padrão para microcistina e saxitoxinas; atualiza e amplia o rol de elementos e substâncias químicas a serem analisadas para 14 elementos inorgânicos, 16 substâncias orgânicas, 40 agrotóxicos e metabólitos e 10 subprodutos do processo de desinfecção por cloro; [...] prevê plano de amostragem diferenciados para povos indígenas e comunidades tradicionais (Alves *et al.*, 2021, p.12).

A Portaria de potabilidade em vigor (Anexo XX da PRC nº 5/2017) explicita nos Art. 12 e 13, que a competência em exercer as ações de vigilância da qualidade da água, são das Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal e das Secretarias de Saúde dos Municípios e do Distrito Federal, cada uma em sua área de atuação. Dentre as responsabilidades das Secretarias Municipais, cabe citar a realização de inspeção sanitária nas formas de abastecimento de água para o consumo humano. Além disso, dentro da sua área de competência, as Secretarias Estaduais ou Municipais podem elaborar diretrizes e normas pertinentes à vigilância da qualidade da água complementares aos padrões nacionais, quando necessário.

3.2.4 Lei de Crimes Ambientais

Em 12 de fevereiro de 1998 foi sancionada a Lei nº 9.605 (Brasil, 1998), que versa sobre as sanções penais e administrativas nos casos de ações que lesem o meio ambiente. Sob a perspectiva do pensamento de Hardin (1968), trata-se de mais um instrumento de natureza normativa/legal para reverter a “Tragédia dos Comuns”. Neste sentido, alguns dos artigos estão direcionados aos crimes que envolvem a poluição das águas. O Art. 33 afirma que a condenação para quem lançar efluentes de qualquer natureza que prejudique as águas e a vida aquática é a detenção de um a três anos, ou multa. Já o Art. 54 prevê reclusão do agente poluidor, quando a poluição hídrica tornar necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade.

Todavia, mesmo com a Lei de Crimes Ambientais em vigor a 25 anos, o Brasil continua sendo protagonista em uma série de eventos danosos ao meio ambiente. Hardin (1968) defendeu

que os problemas dos conflitos no uso dos recursos naturais finitos só seriam superados com a redução das liberdades individuais, adotando uma postura de privatização das propriedades. Contudo, esse pensamento possui limitações e implicações. Vargas e Herscovici (2017) afirmaram que os instrumentos de natureza normativo/legal são essenciais e podem ser efetivos no controle do uso do bem comum, pois o simples fato de existirem convenções e regras pode ser suficiente para não ocorrer uma sobreutilização.

Dessa forma, cabe a aplicação de uma revisão sobre os instrumentos normativos/legais criados para controlar as práticas lesivas. Dentre as medidas, é necessário rever instrumentos econômicos da gestão ambiental tais como incentivos fiscais e financeiros para diversos setores, impedindo que o ato de poluir tenha custo menor que o de não poluir. É crucial que essas legislações se adequem a realidade local, visto que existem diferentes situações em função da natureza do bem comum. Portanto, para cada caso, deve-se pensar numa solução específica. O Brasil possui regiões com singularidades que não podem ficar a mercê de uma legislação generalista, como é o caso da Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento, que tem como objetivo universalizar e qualificar a promoção dos serviços de saneamento básico até o ano de 2033. Contudo, essa lei propõe o mecanismo da privatização como solução para a problemática e, assim, não considera os estados que possuem menos de 5% de municípios autossuficientes, ao propor a regionalização e formação de blocos de municípios.

A apropriação privada, defendida por Hardin (1968), também pode levar ao esgotamento do estoque de um bem comum, pois a preservação estará ligada a um possível comportamento “racional” do proprietário privado (Vargas; Herscovici, 2017). Além disso, a generalização e disseminação da apropriação privada conduz a concentração de renda, aumentando a pobreza e a degradação ambiental. Pela lógica da privatização, a preservação dos estoques e o consumo individual dos bens comuns seriam regularizados pelo preço, num processo de mercantilização da natureza.

Com uma abordagem mais dinâmica, é possível incluir novos e importantes componentes à essa discussão. Deve-se atentar que apenas a formulação e a ampliação de instrumentos normativos são insuficientes para a manutenção de um meio ambiente seguro e equilibrado. Faz-se necessário a aplicação de instrumentos operacionais que viabilizem a aplicação fiscalização e incentivem as práticas conservacionistas, expandindo tais processos para além dos grandes centros urbanos. O conhecimento e as técnicas devem estar difundidos e formulados com a contextualização para diversas situações e realidades sociais, ambientais,

econômicas e governamentais.

Ademais, o filósofo Immanuel Kant no século XVIII já pontuava a importância dos instrumentos educacionais na formação cidadã. Portanto, para se reverter a “Tragedias dos Comuns”, é necessário a aplicação desses instrumentos, em primeiro momento, que sensibilizem e auxiliem na formulação de um pensamento crítico a respeito da dinâmica social e da influência desta sob o meio ambiente. Instrumentos educacionais eficientes conduzem a um caminho assertivo na determinação dos instrumentos administrativos, com foco numa visão ecocêntrica, em detrimento a uma visão antropocêntrica.

3.2.5 Saneamento básico no Brasil e a Lei nº 14.026/2020

O saneamento ambiental considera ações de cunho social, ambiental e econômicas com o objetivo de alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental e cidades saudáveis (Nugem *et al.*, 2021). Faz parte do saneamento ambiental as atividades de saneamento básico, que compreende os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e tratamento de resíduos sólidos e drenagem urbana.

No Brasil, aproximadamente 10% da população carece da cobertura de coleta de resíduos sólidos, cerca de 16% da população ainda não tem acesso a uma rede de abastecimento de água, 17% dos municípios não possuem qualquer sistema de drenagem urbana e um pouco mais de 47% da população não tem acesso a coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2021). Tais dados, principalmente no que se refere ao esgotamento sanitário, sinaliza que a universalização dos serviços de saneamento básico ainda é uma realidade distante para quase metade da população brasileira, apesar da Organização das Nações Unidas (ONU, 2010) ter apontado o saneamento básico como “um direito humano essencial para o pleno gozo da vida e de todos os direitos humanos”.

Vale observar que esse panorama geral não reflete igualmente as realidades do Brasil. Nas regiões Norte e Nordeste, os déficits de acesso ao saneamento básico são bem mais elevados que nas outras regiões do país. No Nordeste, por exemplo, aproximadamente 25% da população carece de rede de abastecimento de água, 70% não tem acesso a rede de esgoto e 52,5% não tem cobertura de coleta domiciliar de resíduos sólidos (SNIS, 2021). O Instituto Trata Brasil (2022) apontou que o saneamento básico no Nordeste avançou muito pouco nos últimos anos. Cinco em cada sete nordestinos ainda não tinha coleta de esgoto em 2020 e quase a metade da água potável produzida era desperdiçada.

Contudo, é de referir que essa população desprovida desses serviços tem um endereço. A falta de saneamento básico é acentuada nas periferias das pequenas, médias e grandes cidades brasileiras, sendo tratada por vezes como um fato natural, situação esta, que aprofunda a desigualdade entre as áreas pobres, desprovidas de toda a infraestrutura da urbes, e as áreas ricas, providas dos melhores equipamentos da urbanidade, reforçando a injustiça social e a violência, e assim, inviabilizando que a cidade seja para todos (Nugem *et al.*, 2021).

Baixos índices de saneamento geram profundos efeitos negativos em diversos setores da sociedade. Ao aumentar a incidência de infecções em decorrência de um ambiente insalubre, a falta de saneamento provoca o afastamento das pessoas de suas funções laborais, acarretando custos para a sociedade com horas não trabalhadas e a sociedade incorre em despesas públicas e privadas com o tratamento das pessoas infectadas. Estima-se que houve um total 43.374 milhões de casos de afastamento por doenças de veiculação hídrica no Brasil ao longo do ano de 2019, o que corresponde a uma taxa de afastamento de aproximadamente 207 pessoas por mil habitantes. Esses afastamentos foram maiores nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. No Nordeste, a taxa de incidência alcançou cerca de 238 casos a cada mil habitantes (Instituto Trata Brasil, 2022).

Além disso, ainda de acordo com o Instituto Trata Brasil (2022), verifica-se que em todo o país, quem mora em domicílio sem acesso à água e ao serviço de coleta de esgoto ganha 83,0% a menos do que uma pessoa que reside em moradias com acesso integral ao saneamento. Ademais, crianças e jovens que moram em áreas sem acesso aos serviços de coleta de esgoto e rede de distribuição de água, apresentam, respectivamente, um atraso escolar 3,2% e 3,1% superior em relação aos que moram em locais com coleta de esgoto e rede de abastecimento de água. A falta de banheiro na moradia também aumenta em 1,5% o atraso escolar dos adolescentes. Ainda se observa que alunos que residem em moradias sem saneamento obtém um desempenho 10,1% menor em comparação aos que moram em locais saneados. Deste modo, a precariedade desses serviços retira das crianças e dos jovens o direito de viverem em um ambiente salutar, além de prejudicar no desenvolvimento escolar e na construção de uma carreira profissional.

Ainda em relação à economia, o turismo é uma das áreas econômicas que mais influencia no PIB do país. Segundo o Ministério do Turismo (2023), para o referido ano, estima-se que o setor seja responsável por 7,8% do PIB. O Brasil, é um país cujo patrimônio natural é o principal atrativo turístico. São praias tropicais, rios caudalosos em diferentes biomas, quedas d'água, piscinas naturais etc. O descuido com a poluição das águas brasileiras implica, de forma

direta, a deterioração do patrimônio natural que sustenta o turismo de lazer no país. Fica claro a ligação do saneamento com o turismo ao observarmos que as economias latino-americanas com melhor saneamento têm fluxos de turistas relativamente maiores. Cuba, Chile e Argentina chegaram a 377, 287 e 165 turistas estrangeiros, respectivamente, por mil residentes em 2019. No Brasil, esse número foi de apenas 30 turistas por mil residentes (Instituto Trata Brasil, 2022).

No entanto, em onze anos (2010-2021), o investimento público no setor foi bastante modesto. O acesso a rede de água potável apresentou um acréscimo de 3,1%, o sistema de esgotamento sanitário aumentou 9,6% e a cobertura domiciliar de coleta de resíduos sólidos sofreu uma alteração positiva de 5,5% (SNIS, 2021). Estes aumentos ínfimos diante da realidade social complexa do país, dificultou e continua dificultando, sendo improvável, o Brasil atingir o que está expresso no ODS 6: assegurar saneamento para todos até 2030.

Borelli (2020) utilizando de uma metodologia de investigações estratégicas, a partir de pesquisas bibliográficas e documentais, apontou uma redução significativa de investimentos no setor entre 2015 e 2020, quando considerado ajustes inflacionários. O orçamento do Governo Federal para 2020, por exemplo, reduziu 21% dos recursos para ações de saneamento básico, na comparação com a o orçamento de 2019. Essas reduções empregadas foram reflexos da difusão, nos dois últimos governos, de políticas neoliberais no Brasil para enfrentamento da crise econômica, penalizando a parcela mais pobre da população.

Atualmente, o arcabouço legal do setor saneamento no Brasil é regido pela Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento. Este instrumento jurídico foi apresentado como solução para universalizar e qualificar a promoção dos serviços de saneamento básico até o ano de 2033.

Entretanto, a Lei nº 14.026 (Brasil, 2020) prevê o mecanismo da privatização dos serviços como *modus operandi* para acelerar a universalização. Trata-se, portanto, de mais uma política neoliberal capaz de aumentar as profundas desigualdades de infraestrutura que já se apresentam no país. Ao licitar esses serviços, a empresa privada irá adquirir a concessão em municípios que apresentem suficiência de caixa, visto que a empresa privada se orienta pelo lucro, pois essa é a essência de sua atividade dentro da ordem econômica capitalista. Assim, os municípios menores e incapazes de prover esses serviços serão relegados a investimentos esporádicos e pontuais. Além disso, pode-se vir a observar um aumento de tarifas e consequentemente, o agravamento da pobreza hídrica. O saneamento não deve ser utilizado como instrumento do argentarismo. Em serviços públicos que garantem o bem-estar e a dignidade humana, apenas um Estado Democrático de Direito é capaz de promover equidade.

Já foram realizados no Brasil mais de 16 leilões de concessões de saneamento em estados como: Alagoas, Ceará, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro. As concessões privadas, que estavam presentes em menos de 6% dos municípios em 2020, chegaram a 509 cidades em 2022, o que corresponde a 9% do total (ABCON, 2022; Portal Saneamento Básico, 2022). Todavia, 22 estados brasileiros já têm suas leis complementares de regionalização, incluindo o estado de Pernambuco, e em breve devem estar leiloando os seus serviços. Outros 4 estados (Acre, Amapá, Pará e Tocantins) estão em fase de estudo para construção da regionalização (SNIS, 2023). Vale ressaltar que o novo marco regulatório extingue os “contratos de programa”. A extinção desse instrumento obriga o município a licitar a concessão dos serviços, mesmo sendo ideologicamente contrário à privatização. Devem ser realizados mais 23 leilões de água e esgoto no Brasil até o final de 2023 (ABCON, 2022).

Consoante com o Portal Trata Brasil (2021), para atingir as metas do Marco Legal será necessário até 2033 uma média de investimento na ordem R\$ 36,2 bilhões/ano. Para fins de comparação, o investimento médio entre 2016 e 2020, equivale a aproximadamente R\$ 17,1 bilhões/ano. Sousa (2020) aponta que o montante estimado para cumprir a tarefa de universalização dos serviços de saneamento no Brasil é de R\$ 20 bilhões/ano o que representaria apenas de 0,3 a 0,5% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Já a meta prevista no Plano Nacional de Saneamento é de investimentos da ordem de 0,33% do PIB, no entanto, nos últimos anos o volume investido ficou abaixo de 0,2% como apontaram Capobianco *et al.* (2023).

A universalização do saneamento gera redução dos custos com a saúde, aumento da produtividade do trabalhador, valorização imobiliária, expansão do turismo, impactos diretos e indiretos na economia devido a renda gerada pelo investimento e operação das atividades. Sendo assim, caso o saneamento e a melhoria das condições de vida da população fosse uma prioridade para os últimos governo, seria possível aplicar esse valor do PIB no setor, não sendo necessário recorrer a iniciativa privada. Contudo, a prioridade foi a entrega dos bens brasileiros a empresas privadas majoritariamente internacionais (Pequeno *et al.*, 2023).

Diversos países ao redor do mundo que privatizaram os serviços de saneamento verificaram aumento nas tarifas, metas não cumpridas, operações com falta de transparência e centralização dos serviços em abastecimento de água, deixando em segundo plano o esgotamento sanitário e, sendo assim, reestatizaram novamente. Para este momento, cabe às instituições públicas, organizações de terceiro setor e a sociedade, de uma forma geral, continuar acompanhando a evolução dessas parcerias público-privada (PPPs) e observar se esse

modelo que estimula a lógica mercadológica será apenas um reprodutor de desigualdade e injustiça socioambiental ou se mostrará como um instrumento capaz de proporcionar a universalização.

3.3 Doenças de veiculação hídrica

Na pandemia da COVID-19, em que o mundo todo enfrentou e ainda enfrenta drásticas consequências, a água está entre as principais ferramentas de combate à transmissão do vírus. A ingestão de água contaminada pode acarretar diversas doenças, como giardíase e ascaridíase, afetando especialmente as crianças em idade escolar que normalmente são mais vulneráveis por possuírem o sistema imunológico imaturo. As doenças ocasionadas por agentes biológicos configuram-se como a principal preocupação a saúde pública, no entanto, a água também pode estar exposta a contaminação por substâncias químicas empregadas no próprio tratamento da água, resultando na formação de produtos secundários, alguns destes com potencial de risco para a saúde de forma significativa, como os trihalometanos e os ácidos haloacéticos (FUNASA, 2013). A contaminação química também pode ocorrer pelo despejo irregular de efluentes industriais em corpos hídricos. Pereira e Silva (2017) destacam que os efluentes industriais podem conter produtos químicos e metais pesados que se acumulam no organismo, podendo gerar problemas graves de saúde, principalmente relativas às disfunções no sistema nervoso e aumento da incidência de câncer em humanos e em animais.

As condições ambientais são um dos mais importantes fatores que interferem na saúde da população. A Lei nº 8.080/1990, que regulamenta a operação do Sistema Único de Saúde (SUS), define o saneamento como um dos elementos determinantes e condicionantes para os níveis de saúde da população (Brasil, 1990). Porém, proporcionar um saneamento acessível e seguro é cada vez mais complexo. Os crescentes níveis de urbanização, as atividades antrópicas e a precarização das condições de vida, exercem forte pressão sobre os recursos naturais, sendo necessário a revisão contínua de conceitos relacionados ao desenvolvimento.

No ano de 2020, o país registrou aproximadamente 200 mil internações por doenças de veiculação hídrica, gerando despesas na ordem de 70 milhões de reais. Deste número total de internações, aproximadamente 35 mil, foram de crianças, adolescentes e jovens adultos (Portal Trata Brasil, 2021). De acordo com o IBGE (2021) a taxa de mortalidade de crianças com até 5 anos de idade é de 11,2 mortes por 1.000 nascidos vivos. O Instituto Trata Brasil (2022) aponta em relatório técnico que a taxa de mortalidade infantil e o acesso aos serviços de

esgotamento sanitário são inversamente proporcionais. Vê-se que, quanto maior o acesso ao saneamento, menor a mortalidade infantil.

Já no ano de 2021, o país registrou cerca de 130 mil internações por doenças associadas à falta de saneamento. A incidência ficou em 6,04 casos por 10 mil habitantes, gerando despesas ao país, com o tratamento dessas pessoas, de aproximadamente de 55 milhões de reais (Portal Trata Brasil, 2023). Estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS) apontam que para cada dólar investido em saneamento, são economizados quatro dólares em serviços de saúde para tratar doenças relacionadas com as condições sanitárias inadequadas (ONU, 2010).

A OMS (2016) afirma que a pobreza nunca será erradicada enquanto milhões de pessoas ao redor do mundo não tiverem acesso a uma água em quantidade e qualidade adequada ou viverem em ambientes contaminados por material fecal. Portanto, para que outras lutas sociais sejam travadas, é necessário em primeiro lugar, proporcionar condições de saúde ambiental às pessoas, promovendo uma gestão segura e integrada de todo o sistema de saneamento, envolvendo as múltiplas partes interessadas.

As enteroparasitoses são as principais doenças relacionadas a poluição e o tratamento inadequado dos recursos hídricos. Estas patologias são ocasionadas por microrganismos que se depositam no interior do sistema gastrointestinal após serem ingeridos com alimentos e/ou água contaminados. No corpo do ser humano, desenvolvem uma relação ecológica de parasitismo, retirando do hospedeiro os nutrientes que precisa para sobreviver e multiplicar-se e, como consequência, causando malefícios a esse hospedeiro.

Cairncross e Feachem (1993) propuseram uma classificação para as enfermidades propagadas pela água contaminada por microrganismos, levando em consideração, entre outros fatores, as vias de transmissão. Esta classificação distingue-se da distribuição clássica da biologia, na qual, as doenças são analisadas por seu agente etiológicos. Sendo assim, os autores classificaram as infecções relacionadas a água em quatro categorias de acordo com a forma de transmissão: feco-oral; relacionadas com a higiene; baseada na água; através de inseto vetor.

Na categoria de transmissão feco-oral, ou seja, quando há a ingestão da água contaminada, estão presentes infecções como diarreias e disenterias, além de doenças como febres entéricas, febre tifoide, febre paratifóide, poliomielite, hepatite A e leptospirose (FUNASA, 2010). Devido ao fato das doenças que culminam em diarreias serem associadas com as precárias condições sanitárias em que se encontram a população, sobretudo aquelas que vivem em zonas periféricas ou rurais, costumeiramente as doenças diarreicas são utilizadas na construção de indicadores que expressam o impacto de ações de saneamento sobre a saúde

coletiva (FUNASA, 2010; Alencar *et al.*, 2019). As doenças diarreicas agudas podem ser causadas por diferentes microrganismos como protozoários, vírus e bactérias.

3.3.1 Doenças diarreicas causadas por vírus

Entre os vírus causadores de doenças diarreicas cabe citar o Astrovírus, Calicivírus, Adenovírus, Rotavírus e Norovírus. Os Rotavírus e Norovírus são os agentes virais gastroentéricos de maior importância clínica. As infecções em humanos que são atribuídas aos Rotavírus são dos grupos A, B e C (Portes, 2017). O Rotavírus foi responsável por 33% das internações por diarreias. Os Rotavírus A são epidemiologicamente mais importantes, porque são os principais responsáveis por episódios de diarreia aguda em crianças menores de cinco anos de idade. Em países de baixa e média renda, provocaram mais de 200 mil óbitos por ano entre 2017 e 2019. A via de transmissão habitual é pelo contato fecal-oral, contato pessoa a pessoa, objetos contaminados e consumo de água ou alimentos contaminados. Posto isso, percebe-se a importância das campanhas de vacinação contra esse agente (Cohen *et al.*, 2022).

Com o controle dos Rotavírus baseado na vacinação, o cenário de surtos de infecções gastrointestinais ganhou um novo agente etiológico causador da doença: o Norovírus (Rocha, 2016). A via de transmissão também é fecal-oral, água e alimentos contaminados e pelo contato pessoa a pessoa. Esse vírus pode se manter no ambiente por longo período e necessitar de uma baixa carga viral para ocorrer a infecção. O período de incubação varia de 12 a 48 horas e os sinais e sintomas como náuseas, vômitos, diarreia aquosa e dor abdominal, podem persistir por até 5 dias (Kamioka, 2018). Não há vacina contra as infecções por Norovírus devido à capacidade de mutações do vírus. Sendo assim, para evitar a disseminação do vírus é recomendado manter o doente afastado dos ambientes que favorecem a propagação, a exemplo, do local de trabalho, escola e preparo de alimentos (Rocha, 2016).

3.3.2 Doenças diarreicas causadas por protozoários

Entre os protozoários causadores da enfermidade estão o *Balantidium coli*, *Isospora belli*, *Cryptosporidium*, *Giardia lamblia*, *Schistosoma mansoni* e *Entamoeba histolytica*, sendo este último, causador da amebíase (FUNASA, 2010). Entre os sintomas da amebíase estão: febres, dores abdominais, diarreia com sangue, flatulência e anemia. Esta doença pode levar a morte (Vila Nova; Tenório, 2019). A depender do protozoário causador da enfermidade, o

quadro clínico do paciente terá distinções, podendo os sintomas permanecer durante dias ou até mesmo, meses.

A pessoa em contato com água doce contaminada também pode adquirir a esquistossomose, que é transmitida após a penetração pela pele e mucosas de larvas do protozoário *Schistosoma mansoni*. Essa doença pode ser aguda ou crônica. Na fase aguda, pode desencadear diarreia, febre, dores de cabeça, emagrecimento, náusea e vômitos. Na fase crônica, pode ocorrer problemas como o aumento do fígado (Vila Nova; Tenório, 2019).

Esses protozoários zoonóticos, ou seja, transmitidos pela água, vem substituindo as bactérias patogênicas como agentes de maior preocupação na transmissão de doenças de veiculação hídrica, pois são mais infecciosos do que os agentes bacterianos, especialmente o *Cryptosporidium* e a Giardia. Além disso, os processos de filtração e desinfecção por cloração, normalmente utilizados nas estações de tratamento da água, embora eficazes para bactérias e vírus, são ineficientes para a lise celular de alguns protozoários, tais como os oocistos de *Cryptosporidium* e cistos Giardia (Mastropaulo; Razzolini, 2018; Santos, 2022).

Em comparação com muitas espécies de patógenos bacterianos, poucos números desses protozoários na água, na ordem de 10 oocistos de *Cryptosporidium*, por exemplo, são capazes de iniciar a infecção humana. Quando da presença de *Cryptosporidium* e Giardia na água ingerida, os sintomas para o ser humano são: diarreia abundante e aquosa, fezes gordurosas, vômitos, náuseas, febre eventual ou rara e câibras abdominais. Vale destacar que altos níveis de infecção podem ocorrer em locais com grande número de crianças, como em creches, escolas ou áreas de lazer com piscinas, por exemplo. Em pacientes com Síndrome de Imunodeficiência Adquirida (AIDS), pode ser fatal (FUNASA, 2010; Rosen, 2012).

Todavia, diferente das bactérias, uma vez que a carga fecal de protozoários do gênero *Cryptosporidium* e Giardia é depositada no ambiente por animais ou humanos, o número de sua população começa a declinar, ou seja, não se reproduzem fora do corpo do hospedeiro (Rosen, 2012).

Segundo Oliveira, Bastos e Silva (2018), o monitoramento de Giardia e *Cryptosporidium* é um trabalho de alto custo financeiro e a detecção desses protozoários em amostras de água com baixa concentração é analiticamente complicado. Devido à problemática da remoção desses microrganismos da água de abastecimento, torna-se necessários estudos dedicados a encontrar metodologias mais simples e economicamente viáveis na determinação e remoção desses agentes biológicos da água destinada ao consumo humano.

Mastropaulo e Razzolini (2018) apontam também a necessidade do avanço nas

resoluções normativas/legais que tratam do tratamento e monitoramento da água destinada ao consumo humano devido o reconhecimento da ocorrência desses protozoários em diversas fontes de água e aos riscos em concentrações baixas que oferece a saúde. Isso se reflete no Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5 de 2017 (PRC nº 5/2017), que condiciona a avaliação da presença dos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* quando for identificada média geométrica anual maior ou igual a 1.000 *E. coli*/100 mL.

3.3.3 Doenças diarreicas causadas por bactérias

Já em relação ao grupo de microrganismos das bactérias, as doenças diarreicas mais conhecidas são causadas pelos seguintes agentes: *Campylobacter jejuni*, *Salmonella*, *Shigella dysenteriae*, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio cholerae* e *Escherichia coli*. A contaminação com essas bactérias produz sintomas como: diarreia que pode variar de pastosa a líquida com presença ou não de sangue, a depender do agente causador, febre e dores abdominais. Os sintomas podem durar até sete dias (FUNASA, 2010).

Dentre os indicadores microbiológicos para o controle e monitoramento da água, destaca-se a contagem de *Escherichia coli*, a principal bactéria termotolerante do grupo Coliforme e o indicador mais específico de contaminação fecal. Os gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella* são os principais representantes formadores do grupo Coliforme que se diferenciam em dois grupos: Coliformes totais e Coliformes termotolerantes. Os Coliformes totais, representam todas as bactérias do grupo Coliforme. São bactérias com morfologia de bacilos, gram-negativas, oxidase-negativas e não apresenta esporos. O processo respiratório é aeróbio ou anaeróbio facultativo, fermentando lactose e produzindo gás a uma temperatura de 35 °C, entre 24 e 48 horas. Estes Coliformes fazem parte da microbiota residente do trato gastrointestinal do homem e de alguns animais (FUNASA, 2013; Mueller; Tainter, 2022).

A presença de Coliformes totais não é uma indicação útil de contaminação fecal, pois bactérias não entéricas, como *Serratia* e *Aeromonas*, também estão inclusas nesse grupo. No entanto, a presença e a quantidade de colônias são indicativos da qualidade higiênico-sanitária de um produto (Silva; Melo, 2021). Por fazer parte da flora natural do intestino (bactéria comensal), os Coliformes não são patogênicos; porém, quando encontrada fora do trato intestinal, algumas linhagens ou a proliferação destes microrganismos podem ser a causa de doenças intestinais e extraintestinais em humanos, como as infecções do trato urinário e a pneumonia (Lopes Neto *et al.*, 2021; Mueller; Tainter, 2022).

Os Coliformes termotolerantes diferenciam-se dos Coliformes totais devido à presença da enzima β galactosidase que fermenta a lactose gerando gás a uma temperatura de aproximadamente 44 °C, em 24 horas, em meios contendo sais biliares ou outros agentes com propriedades inibidoras semelhantes, de acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2013). O principal representante do grupo termotolerante e o indicador mais específico de contaminação fecal, além de eventual presença de organismos patogênicos, é a *E. coli*.

A *E. coli* é encontrada no meio ambiente quando liberadas nas fezes que, por sua vez, podem ser lançadas inadequadamente no solo e na água, contaminando as plantas, os animais e os seres humanos que ocupam a mesma área ou até mesmo áreas relativamente distantes, devido ao movimento de massas.

A origem fecal da *E. coli* é inquestionável, já que esta se faz presente majoritariamente no trato intestinal de animais endotérmicos (aves e mamíferos), o que valida seu papel mais preciso de indicador de contaminação tanto em águas naturais, quanto tratadas. Assim, a presença ou ausência desse patógeno aponta de forma simples a confiabilidade sanitária da água e, conseqüentemente, possíveis impactos ambientais de origem antrópica.

O Ministério da Saúde por meio da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Brasil, 2016), aponta que cabe aos municípios definir o respectivo plano em consonância com as orientações das Diretrizes Nacionais. Os parâmetros que compõem o plano de amostragem básico, também conhecidos como indicadores sentinelas, são a turbidez, cloro residual livre, os Coliformes totais e a *Escherichia coli*. O plano de amostragem também elenca o parâmetro fluoreto.

No entanto, as estações de tratamento de água vêm abandonando a aplicação do flúor ao final do tratamento, isso porque, há controvérsia sobre os efeitos dessa substância na água. Segundo Libânio (2010), a fluoretação da água pode causar sérios problemas de saúde e não é suficientemente eficaz para justificar os custos. Efeitos adversos como fluorose dentária severa, fluorose esquelética e ossos enfraquecidos, ocorrem quando o flúor se apresenta acima dos níveis de concentração recomendados, problema este, agravado com o fato da dosagem não poder ser controlada com precisão em todo o sistema de distribuição de água. Os defensores apontam para as taxas de cáries reduzidas entre crianças, mas vários países europeus viram as taxas de cáries permanecerem iguais ou diminuir depois de cessar a fluoretação em fontes de água (Libânio, 2010).

Salienta-se que o monitoramento deve contemplar locais estratégicos, ou seja, que abriguem populações vulneráveis, como serviços de saúde, escolas, creches e asilos (Brasil,

2016). O monitoramento da qualidade da água de abastecimento no ambiente escolar é de relevante necessidade, pois visa identificar possíveis riscos à saúde por exposição a agentes microbiológicos e físico-químicos presentes na água. Todavia, por causa de questões técnicas, operacionais e financeiras, muitos municípios não executam o plano de amostragem básico. Devido a este e aos outros fatos levantados, diversos estudos dedicam-se ao monitoramento da água destinada ao consumo humano, com foco especial na análise de *E. coli*.

Souza *et al.* (2018) e Magalhães, Santos e Silva (2020) realizaram estudos de qualidade microbiológica da água em oito escolas públicas de educação infantil, nos municípios de Ibirama (Santa Catarina) e Serra Talhada (Pernambuco), respectivamente. No primeiro estudo, os autores verificaram que em todas as escolas não foram detectadas a presença de *E. coli*, todavia, em 50% das instituições houve a presença de Coliformes totais e bactérias heterotróficas na água. Já no estudo realizado nas escolas de Serra Talhada, das oito escolas, duas apresentaram resultado positivo para *E. coli* na análise da água proveniente das torneiras dos tambores e caixas d'água dessas instituições. Por outro lado, a água dos bebedouros de todas as instituições, não apresentou resultado positivo para esse indicador. Magalhães, Santos e Silva (2020) reforçam que os resultados positivos para *E. coli* podem estar associados à falta de higienização nos tambores plásticos ou nas caixas d'água, assim como contaminações no encanamento. Vale ressaltar que as duas pesquisas se limitaram a análise da água de apenas um mês e o Ministério da Saúde recomenda a análise mensal a fim de serem adotadas medidas corretivas no caso de resultados insatisfatórios em algum período do ano e evitar a disseminação de doenças na comunidade escolar.

Scherer (2019) avaliou a qualidade da água destinada ao consumo humano em região de tríplice fronteira (Brasil, Paraguai e Argentina) antes e após o tratamento efetuado por duas Estações de Tratamento de Água (ETA) e em seis Centros Municipais de Educação Infantil (CMEI). O autor detectou nas amostras de água dos CMEI a presença de coliformes totais, *E. coli*, bactérias heterotróficas, *Pseudomonas aeruginosa* e *Enterococcus spp.* Em 2,8% das amostras de água dos CMEI ainda foram identificados cistos de *Giardia*.

Outros estudos dedicados a análise microbiológica e físico-química da água de instituições de ensino são: Bernardino, Silva e Souza (2017); Moraes *et al.* (2018); Viana *et al.* (2018); Sampaio (2019); Oliveira *et al.* (2019); Oliveira *et al.* (2023); Pereira *et al.* (2023). Assim, percebe-se a necessidade do contínuo monitoramento de patógenos em água tratada para proteção da saúde pública e independente do agente etiológico causador das doenças, as principais medidas de controle são o abastecimento doméstico, educação sanitária, tratamento

das águas residuárias antes do reuso ou lançamento no meio ambiente e melhorias habitacionais.

3.4 Planos de Segurança da Água

No contexto da vigilância da qualidade da água para consumo humano, o monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica é aspecto fundamental, entretanto, é insuficiente como instrumento de garantia de segurança da água para consumo humano, isso porque os critérios de amostragem são baseados em princípios estatísticos que incorporam graus de incerteza. Destaca-se ainda, que o monitoramento reflete as características da água em uma condição passada, ou seja, já consumida, sendo assim, não é uma medida que forneça uma ação corretiva imediata (Brasil, 2016).

Neste contexto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) aponta os Planos de Segurança da Água (PSA) como instrumentos de avaliação que incorporam o gerenciamento da qualidade da água em todas as etapas do fornecimento, desde a captação até o consumidor, baseado em uma abordagem preventiva de riscos à saúde. Vale frisar que o Brasil foi o primeiro país do mundo a incorporar o tema PSA em legislação nacional. De maneira simplificada, os PSA constituem-se das seguintes etapas: planejamento das atividades; avaliação do sistema; monitoramento operacional; planos de gestão; revisão, validação e verificação do PSA (Brasil, 2012).

Na etapa de avaliação do sistema é realizada uma caracterização de perigos potenciais e análise dos riscos, envolvendo todas as etapas do sistema de abastecimento, visando determinar se a qualidade final da água distribuída aos consumidores atende aos padrões estabelecidos pelas portarias pertinentes (Lucena, 2018).

3.4.1 Análise de Risco

A análise de risco é uma atividade relacionada a avaliação de impactos ambientais (AIA). Todavia, essa análise pode ser desenvolvida de maneira independente. Segundo Sánchez (2008, p. 321), a análise de risco é realizada de acordo com as seguintes etapas: “identificação dos perigos; análise das consequências e estimativa dos riscos; avaliação dos riscos; gerenciamento dos riscos”.

Dentre estas etapas, na avaliação do risco, empregam-se pontos de vista para determinar a importância e consequências socioambientais e econômicas dos riscos. É importante focalizar

que o perigo é uma situação ou condição que tem potencial de acarretar consequências indesejadas. O risco, por sua vez, é a possibilidade de materialização do perigo ou de um evento indesejado (Sánchez, 2008). A diferenciação desses conceitos é de extrema importância, pois na caracterização dos riscos é necessário, inicialmente, identificar o perigo, informando os possíveis agentes e os efeitos desta situação adversa.

Existem vários métodos para a identificação dos riscos, os quais podem ser classificados em qualitativos, quantitativos e técnicas híbridas, a citar: Análise Histórica de Acidentes; Inspeção de Segurança; Lista de Verificação; Método “E se...?”; Análise Preliminar de Riscos – PHA; Estudo de Risco e Operabilidade – HAZOP; Análise de Árvore de Falhas – FTA e Tipos de Ruptura e Análise das Consequências – FMEA.

O Método Tipos de Ruptura e Análise das Consequências, também conhecido como Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos – FMEA, é uma metodologia indutiva que se baseia na experiência e no conhecimento dos membros especialistas da equipe que irão discutir os riscos ou falhas de um determinado processo ou produto e estabelecer as prioridades para o tratamento das falhas e implementação das ações recomendadas através do preenchimento um formulário contendo os efeitos e causas do perigo, medidas mitigadoras e a quantificação do risco ambiental total. Desta forma, a constante aplicação do FMEA resultará na melhoria contínua da organização/processo/produto. Essa quantificação é o resultado do produto de quatro critérios: severidade, ocorrência, detecção e abrangência do impacto ambiental. A severidade diz respeito à gravidade do risco caso ele aconteça. A ocorrência é a frequência de acontecimento do risco. A detecção relaciona-se à facilidade ou não de formas de se identificar os riscos. Por fim, a abrangência está relacionada a área ou limites que o risco pode atingir (Zambrano; Martins, 2007; Pedrosa, 2014; Ogata *et al.*, 2016).

Segundo Sant’Anna e Pinto Junior (2010) a construção e aplicação do formulário FMEA é constituído de cinco etapas (Quadro 1).

Quadro 1 – Etapas do FMEA

Etapa	Definição
1º - Planejamento	Decisão do objeto de estudo; definição da equipe multidisciplinar avaliadora; agendamento de reuniões e organização da documentação pertinente.
2º - Análise de falhas em potencial	Construção do formulário do FMEA que consiste na definição das falhas que podem acontecer, ou seja, os perigos que o produto está susceptível; os efeitos ou consequências das falhas caso ocorram, causas que levam as falhas e medidas mitigadoras

3° - Avaliação dos riscos	Avaliação da representatividade de cada perigo listado na segunda etapa. Deve ser definido os escores de severidade, ocorrência, detecção e abrangência do risco e cálculo final do risco. Esse formulário será preenchido na reunião da equipe avaliadora. A decisão da equipe avaliadora deve ser unanime e será norteada com o auxílio de uma tabela de escore.
4° - Melhoria no processo	Definir ações viáveis, pessoas responsáveis pela implementação das ações e prazos de implementação que visem diminuir os riscos de ocorrência de uma falha.
5° - Continuidade da análise	Consiste na constante revisão do documento em casos de alteração no produto, com o objetivo de incluir novas falhas, anteriormente não listadas.

Fonte: Adaptado de Sant'Anna e Pinto Junior (2010).

Vale ressaltar que a quarta e quinta etapa diz respeito ao gerenciamento do risco. Para o desenvolvimento da análise de risco deste estudo foi utilizado o método de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA). Todavia, esta pesquisa se propõe ao estudo apenas das etapas de identificação dos perigos, análise dos efeitos e estimativa dos riscos e avaliação dos riscos. Assim, na utilização do método FMEA será aplicada apenas as três primeiras etapas. Contudo, as etapas aqui estudadas e implementadas podem ser contributo para que o órgão municipal adote as medidas concernentes para o gerenciamento dos possíveis riscos.

Lucena (2018) realça que a avaliação de riscos em sistemas de abastecimento de água para o consumo humano não é um objetivo isolado. Compreende-se que a avaliação de riscos de processos, componentes e produtos (a qualidade da água) do sistema de distribuição é uma maneira de subsidiar tomadas de decisão que ajudem a garantir o consumo de água segura pelas populações.

Rodrigues (2014) ressalta que a gestão de sistemas de abastecimentos e o controle da qualidade da água, requer uma abordagem dinâmica, sendo necessárias técnicas gerenciais que permitam lidar com as variáveis intervenientes no sistema. A análise de risco possibilita apresentar um panorama abrangente sobre os sistemas de abastecimento de água auxiliando nas tomadas de decisão.

Na literatura encontra-se diversos estudos que empregam o método FMEA como instrumento metodológico na análise de risco de sistemas de abastecimento e qualidade da água para consumo humano e outros fins, a citar: Fernandes Neto e Sarcinelli (2009); Rodrigues (2014); Ogata *et al.* (2016); Lucena (2018); Medeiros (2020); Santos; Barbosa; Rodrigues (2021).

3.5 Métodos de desinfecção da água para consumo humano

Geralmente localizada ao final do processo de tratamento da água, cabe ao processo de desinfecção inativar, reduzir ou inibir os microrganismos patogênicos, para assim controlar a propagação das doenças (Tortura; Funke; Case, 2016). A desinfecção da água pode ser realizada por métodos químicos e físicos. Segundo Libânio (2010) os desinfetantes físicos e químicos podem agir sobre os microrganismos por meio de três processos: lise da parede celular, difusão do desinfetante no interior do microrganismo e interferência na reprodução celular.

Os componentes lipídicos e proteicos da membrana plasmática celular conferem a suscetibilidade dos microrganismos aos agentes desinfetantes, alterando a permeabilidade da membrana e rompendo ligações de hidrogênio e as ligações covalentes. Alguns agentes desinfetantes ainda podem interferir na replicação do DNA e do RNA. A curva da taxa de morte de microrganismos sujeitos a agentes antimicrobianos químicos ou físicos, quando representada graficamente de forma logarítmica, é constante e retratada como uma linha reta (Tortura; Funke; Case, 2016).

A eficiência da desinfecção depende para além do método físico-químico escolhido. Fatores como quantidade e tempo de contato do desinfetante com a água, espécie e quantidade de microrganismos, fases do ciclo de vida microbiana (por exemplo, endósporos), as características físicas e químicas da água e presença de matéria orgânica, também interferem no grau de eficiência do processo (Libânio, 2010).

3.5.1 Desinfecção química

Nas estações de tratamento de água do Brasil, é amplamente empregada a desinfecção química com a utilização do cloro (Cl_2), pois além do baixo custo, oxida os microrganismos (ruptura da membrana celular) e apresenta um efeito residual que inibe a ressurgência destes na água. No entanto, estudos já apontaram que a reação do cloro com alguns compostos orgânicos presentes na água leva à formação de trihalometanos (THM), uma substância com potencial cancerígeno. Ademais, alguns microrganismos são resistentes ao cloro, como o *Cryptosporidium*, *Giardia sp*, alguns vírus e bactérias esporuladas (Cardoso; Carli; Luca, 2003; Libânio, 2010).

Por causa dessa relação entre o uso de cloro e a formação de THM, medidas são aplicadas para o controle da formação desses compostos nas estações de tratamento, como o uso de oxidantes/desinfetantes alternativos que reduzem a formação desses subprodutos indesejáveis. São exemplos de desinfetantes químicos alternativos ao cloro, as cloraminas, o

dióxido de cloro, o ozônio, o permanganato de potássio, o peróxido de hidrogênio e o peroxônio (combinação de peróxido de hidrogênio e ozônio). Outras medidas também podem ser aplicadas para o controle de THM, como a remoção de precursores em outras etapas do tratamento antes da aplicação de cloro ou a remoção de THM após a sua formação (Meyer, 1994; Paschoalato, 2005).

Nos casos da descontaminação química da água nos pontos de consumo, normalmente também é feita com a adição de cloro. Todavia, a aplicação ministrada por não técnicos da área poder resultar em dosagens insuficiente ou excessivas. No caso da insuficiência, a água continua representando um risco a população e, em caso de excesso, além de alterar o sabor da água, ao entrar em contato com a matéria orgânica, também nesses casos, a cloração pode gerar os thihalometanos (Silva; Tiba; Calazans, 2016).

A desinfecção por ozônio é outro método químico eficiente para inativar os microrganismos presentes na água, pois o potencial de oxidação do ozônio é de $-2,7$ V, bem maior que o do cloro que é na ordem de $-1,36$ V. O ozônio é superado apenas pelo radical hidroxila (OH) e pelo flúor em sua capacidade de oxidação (Ishaq *et al.*, 2019). Devido a sua ação oxidante mais efetiva, o ozônio promove a ruptura direta da parede celular, demandando menor tempo de contato e tornando impossível sua reativação, diferentemente do cloro, que atua por difusão através da parede celular, e em seguida no interior da célula, danificando as enzimas, proteínas, DNA e RNA do microrganismo (Rodrigues, 2011).

O ozônio é muito eficaz na inativação de vírus, fungos, de cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*. Bactérias esporuladas são mais resistentes a inativação por ozônio em relação as formas vegetativas, mesmo assim o ozônio é efetivo na inativação. Devido ao baixo período de meia vida raramente é encontrado residual do desinfetante na água após alguns minutos da aplicação, sendo necessário a aplicação de um residual de cloro para manter a integridade da água e da rede (Silva *et al.*, 2011).

O ozônio ainda se destaca em relação ao cloro por não promover alteração na cor e sabor e não formar compostos orgânicos halogenados. Porém, quando a água contém o íon brometo, ocorre a formação de subprodutos bromados que apresentam caráter cancerígeno (Paschoalato, 2005; Ishaq *et al.*, 2019).

A geração no local é necessária, pois o ozônio é instável à pressão atmosférica. A produção ocorre a partir de um gás contendo oxigênio que é submetido a um campo elétrico. (Ishaq *et al.*, 2019). Por isso, a desinfecção da água com ozônio não é recomendada para tratamento realizado em âmbito familiar devido à complexidade para gerá-lo, custo elevado e

necessidade de uma fonte de energia elétrica segura (Silva, 2016).

3.5.2 Desinfecção física

Os agentes físicos de desinfecção da água estão geralmente relacionados com a energia de radiação e ao calor. Sendo assim, são métodos de desinfecção física a radiação UV, a radiação gama, a radiação solar e, em nível domiciliar, a fervura da água (100 °C) que destrói muitas células vegetativas e vírus em 10 minutos. Na pasteurização HTST (pasteurização rápida), por exemplo, utiliza-se de uma alta temperatura por um curto período (72 °C por 15 segundos) para destruir os patógenos sem alterar o sabor do alimento (Tortura; Funke; Case, 2016).

Ao se aplicar um desses métodos de desinfecção por mecanismo físico, ocorre uma interferência na biossíntese e reprodução celular do microrganismo devido aos danos fotoquímicos causados aos ácidos nucleicos (quebrando ligações químicas) e enzimas, quando se trata de organismos unicelulares, ou também, danos a células estruturais dos microrganismos, quando se trata de organismos pluricelulares (Libânio, 2010).

O tratamento UV pode ser usado para tratar águas residuais ou água potável sem a geração de nenhum subproduto, como os acetaldeídos e os trihalometanos (THM). Com a radiação ultravioleta é possível obter a inativação de *Giardia* e *Cryptosporidium* com menor custo em relação à aplicação de dióxido de cloro e ozônio no tratamento (Ishaq *et al.*, 2019).

A filtração apresenta-se também como um mecanismo físico de remoção de microrganismos da água. Nesta operação unitária ocorre a passagem da água através de um filtro com poros pequenos o suficiente para reter os microrganismos. Além do processo clássico de filtração com poros de 100 µm, ainda existe a microfiltração (poros de 0,1 a 5 µm e pressão necessária < 2,0 bar), ultrafiltração (poros de 0,001 a 0,1 µm e pressão necessária de 1 a 10 bar), nanofiltração (poros < 0,001 µm e pressão necessária de 5 a 35 bar) e osmose inversa (poros < 0,001 µm e pressão necessária de 15 a 150 bar). Os filtros de membrana composta de ésteres de celulose são comumente usados para filtrar bactérias e vírus (Hebert; Borges; Nobrega, 2006; Tortura; Funke; Case, 2016).

Todos esses métodos citados são alternativas de desinfecção da água comprovadamente eficazes e disseminadas pelo mundo. Contudo, não é possível a utilização segura de muitos desses agentes físico-químicos de potabilização da água em pequenas comunidades rurais ou carentes de saneamento básico, justamente devido a necessidade de mão de obra especializada

e o custo elevado de algumas técnicas. Deste modo, é crescente a quantidade de estudos, sobretudo em países em desenvolvimento, que buscam tecnologias alternativas e de baixo custo para o tratamento de água (Rodrigues, 2011).

A radiação ultravioleta de procedência natural do sol é um dos objetos de estudos para a potabilização da água. O processo de desinfecção pela energia solar apresenta como princípio a luz ultravioleta, que atinge os microrganismos e induz a formação de formas reativas de oxigênio e a radiação infravermelha que aquece a água (Fernandes; Cavalcante; Batista, 2019).

3.6 Desinfecção alternativa da água por radiação solar: SODIS e SOPAS

O sol é uma grande usina termonuclear que produz energia por meio de constantes fusões nucleares em seu interior a milhões de graus centígrados, que depois que alcança a superfície terrestre é emitida na forma de energia radiante para o espaço (Cerqueira, 2018). Trata-se, portanto, de uma fonte renovável de energia que não gera poluentes e ruídos e não emite gases do efeito estufa, o que colabora no processo de conservacionismo ambiental, já que é crescente a preocupação com as mudanças climáticas e com a crise energética em todo o mundo (Bezerra; Damázio; Silva, 2017; Carmo; Soares, 2022).

A radiação solar tem inúmeras aplicações, podendo ser empregada desde em grandes usinas para produção de energia elétrica até trabalhos em pequena escala por meio de tecnologias sociais para satisfazer necessidades pontuais em comunidades remotas, como cozer, aquecer, desinfetar e dessalinizar a água (Cerqueira, 2018; Carmo; Soares, 2022).

Neste sentido, é oportuno a difusão dessa tecnologia direcionada a uma aplicação social, uma vez que se trata de uma fonte de energia renovável e disponível em todas as localidades, principalmente no nordeste brasileiro, que apresenta alto potencial solar, contribuindo na melhoria nos aspectos socioeconômicos e ambientais, diminuindo as vulnerabilidades existentes (Cerqueira, 2018).

Grande parte da população carente de pequenas cidades e das zonas rurais, sofrem com a falta de água ou o abastecimento desregular. Estes locais por vezes têm acesso a uma água com qualidade sanitária comprometedora a saúde humana e não dispõem de recursos necessários à implantação de sistemas de tratamento de água adequados, sobretudo tratamentos microbiológicos. Outra preocupação está nas localidades que recebem água encanada e tratada, mas a água sofre processos de contaminação durante o percurso que faz até chegar ao destino. Sendo assim, Bezerra, Damázio e Silva (2017) apontam que se torna necessário o

desenvolvimento de meios alternativos e viáveis economicamente para melhorar a qualidade dos recursos hídricos e da saúde da população. Tecnologias estas que devem ser de fácil instalação, operação e manutenção para que possam ser gerenciadas e sustentadas com recursos locais.

Técnicas como a desinfecção solar (SODIS – solar desinfection) e a pasteurização solar (SOPAS – solar pasteurization) são métodos físicos que utilizam a radiação UV para desinfetar a água e mostram-se como uma solução viável e sustentável para produzir uma água segura para beber em comunidades carentes ou longínquas, pois a radiação solar apresenta efeito biocida em microrganismos (Cerqueira *et al.*, 2021).

O sistema SODIS é uma tecnologia mais simples, que consiste em expor garrafas pets contendo água, à luz solar, por aproximadamente 6 horas, de preferência entre as 9 horas da manhã até as 15 horas da tarde, pois é o período no qual é observado as maiores radiações solares e a água consegue atingir temperaturas superiores a 50 °C, proporcionando a desinfecção. Ressalta-se que metade do corpo das garrafas deve ser pintado de preto, para aumentar a absorção térmica e as condições do clima deve ser de céu limpo (Rodrigues, 2018; Cerqueira *et al.*, 2021). Apesar de ser um método simples e de baixo custo, deve-se levar em consideração a incapacidade do sistema inativar microrganismos mais resistentes como vírus entéricos, bactérias esporuladas e algumas formas de protozoários.

Wan *et al.* (2022) utilizaram o sistema SODIS para tratar a água destinada ao consumo humano em termos de inativação de fungos dos gêneros *Aspergillus niger* e *Penicillium polonicum*. Os autores testaram tratamentos da água apenas com o cloro, apenas solar e tratamento de combinação solar com cloro, com a irradiação solar de 900 W/m² e a concentração inicial de cloro de 2,0 mg/L. A exposição apenas ao cloro produziu uma inativação de esporos abaixo de 0,5 log₁₀, o que foi insignificante. Já a inativação solar/cloro forneceu um fator de redução em log₁₀ de 2,58 e 15,54 para *Aspergillus niger* e *Penicillium polonicum*, respectivamente.

Já o sistema SOPAS tem sido utilizado em substituição ao sistema SODIS. Enquanto neste último há uma combinação entre a radiação de maior frequência presente no espectro solar (UV e violeta) com o efeito térmico para promover a inativação microbiológica, no SOPAS, utiliza-se apenas do aumento da temperatura da água associado a um tempo de detenção necessário, como mecanismo de letalidade aos possíveis microrganismos (Rodrigues, 2018).

Para realizar a pasteurização solar da água são desenvolvidos refletores,

concentradores ou coletores solares térmicos, que podem ser planos, cilíndricos-parabólicos simples e compostos, entre outros. Além disto, esses sistemas podem operar por batelada ou por fluxo contínuo (Silva, 2016; Sorrentino *et al.*, 2020). Deste modo, o SOPAS consegue tratar diariamente um volume maior de água e diversos estudos têm sido realizados para definir as melhores concepções de operação para cada realidade de acordo com as condições climáticas locais, avaliando, também, a eficiência do sistema no que tange a desinfecção da água.

Lima e Gonçalves (2018) apontam que todos os aparelhos de natureza solar, devem ser posicionados em direção ao norte verdadeiro, para o caso de estarem localizados no hemisfério sul. Esta recomendação visa interceptar a maior quantidade de irradiância solar para o painel em uma posição fixa. O parâmetro que influencia essa orientação é o azimute (γ). O azimute é o ângulo no plano da superfície da Terra, entre a direção do polo Norte e a projeção da trajetória de incidência direta solar na superfície terrestre, por isso a declividade da placa ou dos coletores deve ser igual à latitude local para compensar o ângulo zenital e receber a luz de frente, isto é, para interceptá-la perpendicularmente.

Todavia, alguns autores, em seus estudos, variaram o ângulo de inclinação dos coletores solares para verificar o desempenho do sistema em função desse parâmetro, ou seja, a produtividade em função da radiação. Silva (2016), por exemplo, ao instalar um pasteurizador solar em uma região com latitude próxima a 8° S, testou a eficiência do equipamento para oito diferentes inclinações (2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 15°, 20° e 25°) e o autor concluiu que para aquela situação os ângulos que proporcionam a maior eficiência dos coletores são entre 10° e 15°, não coincidindo, portanto, com a latitude local.

O sistema proposto por Silva (2016) operava em bateladas e foi avaliado também em termos de inativação de Coliformes totais e *E. coli* para cinco faixas de temperatura (55, 60, 65, 75 e 80 °C) e cinco tempos de permanência (3600, 2700, 1800, 900 e 15 segundos), respectivamente. O autor verificou que a inativação do grupo coliformes pode ocorrer a uma temperatura menor, porém com um tempo de detenção maior e vice-versa. Correlacionando os dados de radiação obtidos, para uma redução de 3 log de *E. coli* é necessário aproximadamente 2000 kJ/m² de radiação solar. Os dados experimentais mostraram que foi possível alcançar uma produtividade de 80 L de água tratada em um dia de céu claro.

Rodrigues (2018) desenvolveu dois sistemas alternativos de pasteurização. Ambos os equipamentos possuíam tubulação feita com mangueira de alta pressão (100 metros), sendo que em um dos equipamentos a mangueira estava dentro de uma estufa enquanto no outro

equipamento, a mangueira não foi colocada dentro de uma estufa. A estufa foi construída com dois coletores solares de alumínio com placa de vidro. Os equipamentos foram instalados em um ângulo de 30°, semelhante à latitude local.

O monitoramento ocorreu durante 10 horas diárias e em dias das quatro estações do ano. Foram realizados ensaios bacteriológicos de Coliformes totais e *E. coli* para a água tratada pelo pasteurizador. Os resultados obtidos pela autora demonstraram que no verão e na primavera o equipamento que continha a estufa promoveu uma redução entre 90 a 100% da concentração de bactérias. Esse fato pôde ser explicado devido a temperaturas superiores a 60 °C alcançadas nessas estações. No equipamento sem a estufa a redução foi de 60 a 80% também em temperaturas superiores a 60 °C. Já nos ensaios realizados pelos equipamentos no outono e inverno, a temperatura máxima obtida nos equipamentos correspondeu a 47 °C, o que permitiu uma redução máxima de microrganismos de 37% (Rodrigues, 2018).

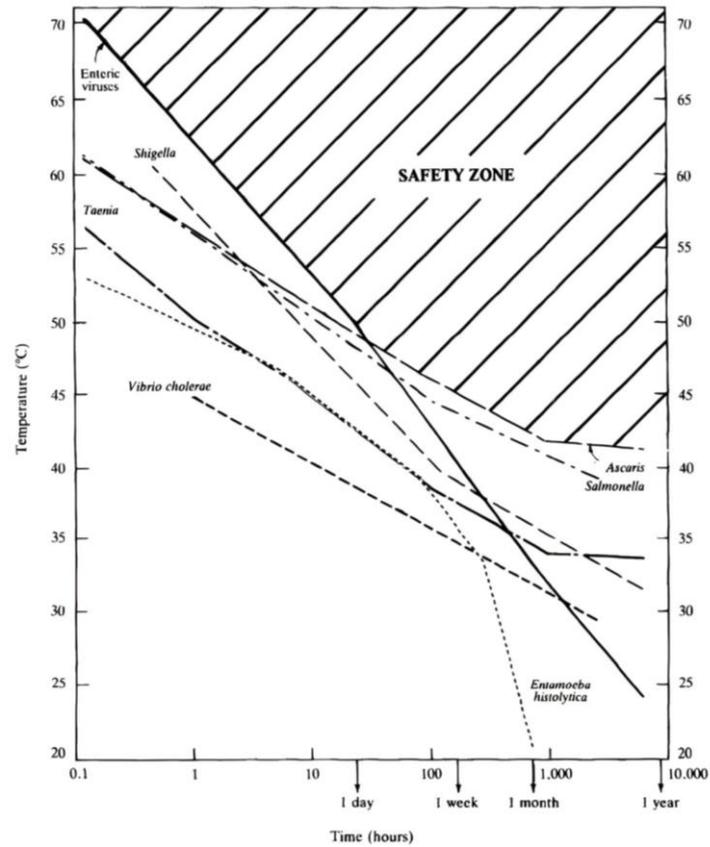
Bigoni *et al.* (2014) desenvolveram um modelo de pasteurizador solar do tipo Concentrador de Calhas Parabólicas (PTC). O sistema proposto funcionava em fluxo contínuo e era composto por folhas de alumínio, tubo de aço galvanizado pintado de preto, com comprimento de 3 metros. As folhas de alumínio foram utilizadas para fazer a parábola sobre uma estrutura que permitia a rotação do painel na direção do sol. Os autores consideraram a temperatura de 87°C como ideal para que ocorra a inativação dos microrganismos patogênicos existentes na água. Ao atingir essa temperatura, uma válvula termostática liberava a água tratada. O sistema de Bigoni *et al.* (2014) alcançou uma produção máxima de 66 litros de água por dia.

Em termos de temperatura, Cerqueira *et al.* (2021) realizaram uma pesquisa exploratória e apontaram que a *E. coli* é inativada em água, quando exposta à radiação solar, com temperaturas na ordem de 70 °C, inclusive em dias nublados, durante 4 horas. Nascimento *et al.* (2018) demonstraram que é possível alcançar uma remoção de 100% da *E. coli* presente na água em uma temperatura a partir de 63,8 °C, com uma irradiação solar estimada em cerca de 4,25 kWh.m⁻².dia⁻¹. Silva, Tiba e Calazans (2016) demonstraram que a desativação do indicador de contaminação da água já é possível a 55 °C, a partir de uma irradiação solar crítica de 8,3 MJ.m⁻². Outros trabalhos como o de Sorrentino *et al.* (2020) dedicaram-se a automatizar o pasteurizador solar, desenvolvendo pseudocódigos para o controle do seguidor solar e para o controle automático de vazão usando válvulas solenoides.

Rodrigues (2018) afirma que para garantir a eficiência de um sistema de pasteurização no que se refere a inativação dos microrganismos é necessário que se observe as faixas

operacionais para a realidade local e o tipo de microrganismos que se deseja inativar. A Figura 1 apresenta a influência do tempo de exposição e da temperatura de pasteurização para causar a morte de diversos microrganismos patogênicos (Feachem *et al.*, 1983).

Figura 1 – Curva de inativação de microrganismos por pasteurização

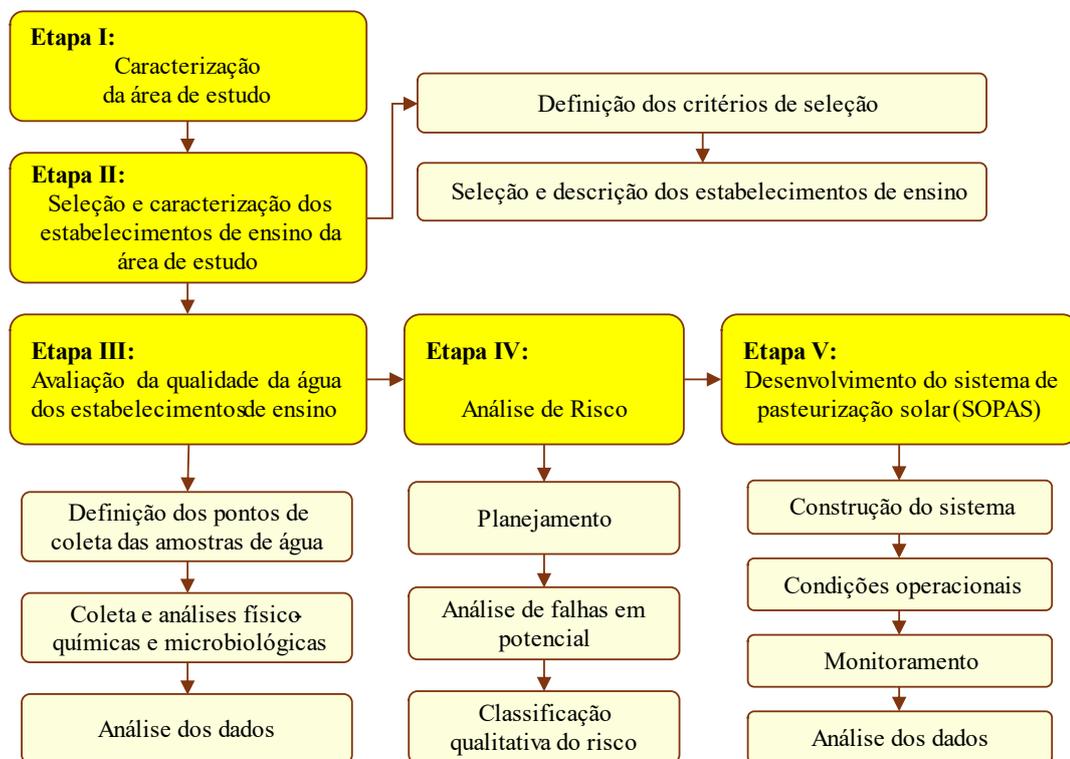


Fonte: Feachem *et al.* (1983).

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi dividida em cinco etapas metodológicas, a saber: caracterização da área de estudo (I); seleção e caracterização dos estabelecimentos de ensino da área de estudo (II); avaliação da qualidade da água dos estabelecimentos de ensino (III); análise de risco à saúde relacionada ao consumo da água (IV); e desenvolvimento do sistema de pasteurização solar (SOPAS) (V). A Figura 2 ilustra as etapas do desenvolvimento desta pesquisa e as características de cada uma das etapas.

Figura 2 – Etapas da pesquisa

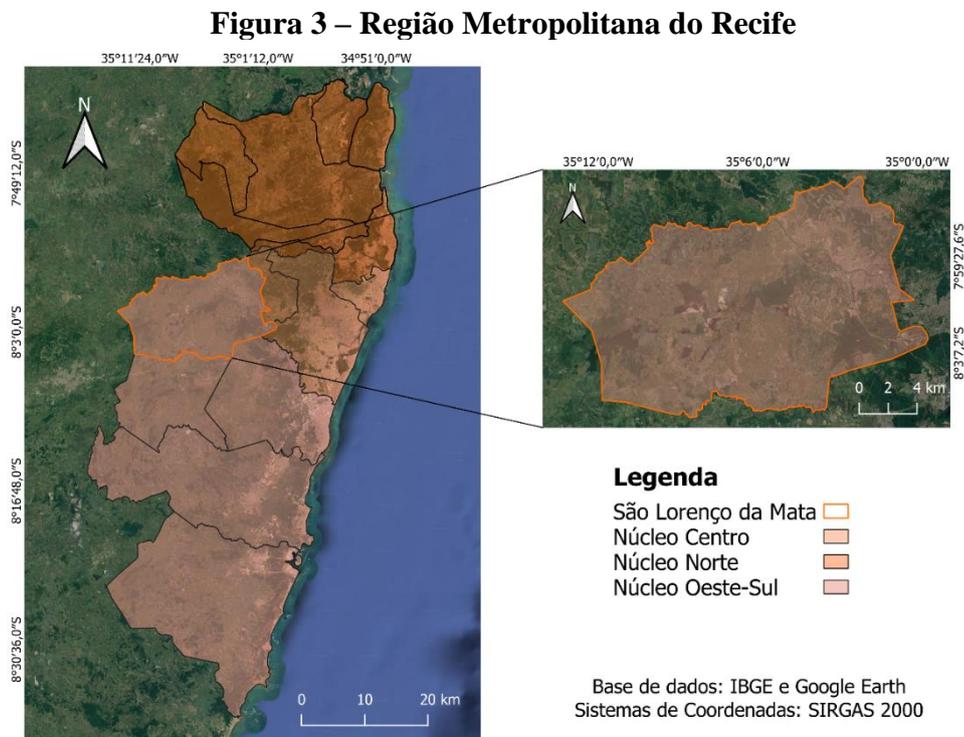


Fonte: Autor (2023).

4.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no Município de São Lourenço da Mata, localizado no estado de Pernambuco, na região Nordeste do Brasil. O município tem limite ao norte com os municípios de Paudalho, Chã de Alegria e Camaragibe; ao oeste com os municípios de Vitória de Santo Antão e Chã de Alegria; ao leste com os municípios de Camaragibe e Recife; ao sul com os municípios de Moreno, Jaboatão dos Guararapes e Recife. Junto com outros 15

municípios compõe a região metropolitana do Recife. Esta região está subdividida em três núcleos: Núcleo Centro, Núcleo Norte e Núcleo Oeste-Sul, sendo São Lourenço da Mata integrante do último núcleo (Figura 3).



Fonte: Autor (2023).

A área municipal de São Lourenço da Mata corresponde a 263,3 km² e representa 0,27% do estado de Pernambuco. A sede do município tem uma altitude aproximada de 58 metros ao nível do mar, distando 18 km da capital Recife (Brasil, 2005).

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o município de São Lourenço da Mata apresenta um clima tropical (quente e úmido) com chuvas no inverno e uma temperatura média anual de 25,5 °C. O período chuvoso começa no final do outono/início do inverno e termina no início da primavera. A precipitação média anual é de 1300 mm e a irradiação solar média anual no plano horizontal é 5,32 kWh/m².dia (INPE, 2017). O território é composto 100% pelo bioma Mata Atlântica, cuja vegetação é predominantemente do tipo Floresta Tropical Estacional Semidecidual, constituída por árvores verdes, com folhas largas e troncos delgados (IBGE, 2012).

O relevo de São Lourenço da Mata faz parte da unidade das Superfícies Retrabalhadas que é formada por áreas com relevo bastante dissecado e vales profundos (Brasil, 2005). Na

Mata Atlântica o tipo de solo mais comum é o humífero, rico em matéria orgânica, devido à decomposição de animais e vegetais característico das regiões com extrema umidade (Pereira; Silva, 2017). Os solos férteis dessa unidade geoambiental, são representados pelos Latossolos Podzólicos e Gleissolos de Várzea (Brasil, 2005). O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe. Os principais cursos d'água apresentam regime de escoamento perene (Brasil, 2005).

A região metropolitana do Recife conta com nove sistemas de tratamento e distribuição de água para a população, os quais são: Sistema Pirapama; Sistema Tapacurá; Subsistema Jangadinha; Subsistema Várzea Una; Sistema Botafogo; Sistema Alto do Céu; Subsistema Caixa D'Água; Sistema Gurjaú e Sistema Suape (COMPESA, 2023).

O subsistema Várzea Una é responsável por aproximadamente 5% da água produzida na Região Metropolitana. Deste percentual, 80% da produção é destinada ao município de São Lourenço da Mata. O município ainda recebe 3% da produção de água do Sistema Tapacurá e um percentual indireto do Sistema Pirapama (COMPESA, 2023). Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) do total de água tratada nos sistemas, 55,8% são perdidas ao longo do sistema de distribuição.

Além do mais, 14,1% da população do município não tem acesso ao abastecimento de água, o que corresponde a 16.228 pessoas. Esse percentual é ainda maior no que se refere à parcela da população sem coleta de esgoto, chegando a cerca de 70%, correspondendo a 80.363 pessoas sem acesso a esse serviço. Nas áreas onde ocorre a coleta de esgoto, apenas 37,8% do volume coletado é devidamente tratado antes de ser lançado em um corpo receptor (Painel Saneamento Brasil, 2021).

Em relação à quantidade de habitantes, de acordo com o último censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) a população do município é de 111.249 habitantes com uma densidade demográfica de 421,90 habitantes por quilômetro quadrado.

Deste número total de habitantes, 4.202 são meninos de cinco a nove anos de idade, enquanto para esta mesma faixa etária, o número de meninas é de 3.981. Já para a faixa etária entre dez e quatorze são 4.005 meninos e 3.811 meninas. Já segundo o censo de 2010 (dado mais recente disponibilizado para o município), 97,1% da população entre seis e quatorze anos de idade estavam matriculados em unidades de ensino (IBGE, 2010).

De acordo com o índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), que agrega informações sobre o fluxo escolar e as médias de desempenho nas avaliações do Sistema de

Avaliação da Educação Básica (Saeb), o município ocupa a posição 146º no estado de Pernambuco com uma nota de 4,6 nos anos iniciais do ensino fundamental e 4,4 nos anos finais do ensino fundamental, o que corresponde à posição 119º do estado. Vale ressaltar que o estado de Pernambuco tem um total de 185 municípios e o IDEB é um índice que varia de 0 a 10. Para o ano de 2022, o IDEB tinha estabelecido como meta, alcançar média 6 em todos os municípios brasileiros, pois este valor corresponderia a um sistema educacional de qualidade comparável ao dos países desenvolvidos (INEP, 2022).

São Lourenço da Mata atualmente consta com um total de 15 creches, sendo 13 municipais e 2 privadas. Mais de 70% das matrículas de crianças em creches são realizadas nas unidades municipais. O município também consta com 51 pré-escolas, sendo 30 municipais e 21 privadas. Destas, 38 estão localizadas na zona urbana, enquanto 13 estão localizadas na zona rural, sendo todas da zona rural pertencentes a rede municipal (INEP, 2022).

Já em relação ao número de estabelecimentos de ensino fundamental de anos iniciais, o município consta com 56 unidades, sendo 1 estadual, 21 privados e 34 municipais. Das unidades municipais, 20 estão localizadas na zona urbana, enquanto 14 estão localizadas na zona rural, sendo esta zona atendida apenas com escolas municipais para o ensino fundamental de anos iniciais. Em relação ao número de estabelecimentos de ensino fundamental de anos finais, o número de unidades é de 23, sendo 2 estaduais, 11 municipais e 10 privadas. São 18 escolas localizadas na zona urbana e 5 localizadas na zona rural, sendo as 5 de administração municipal (INEP, 2022).

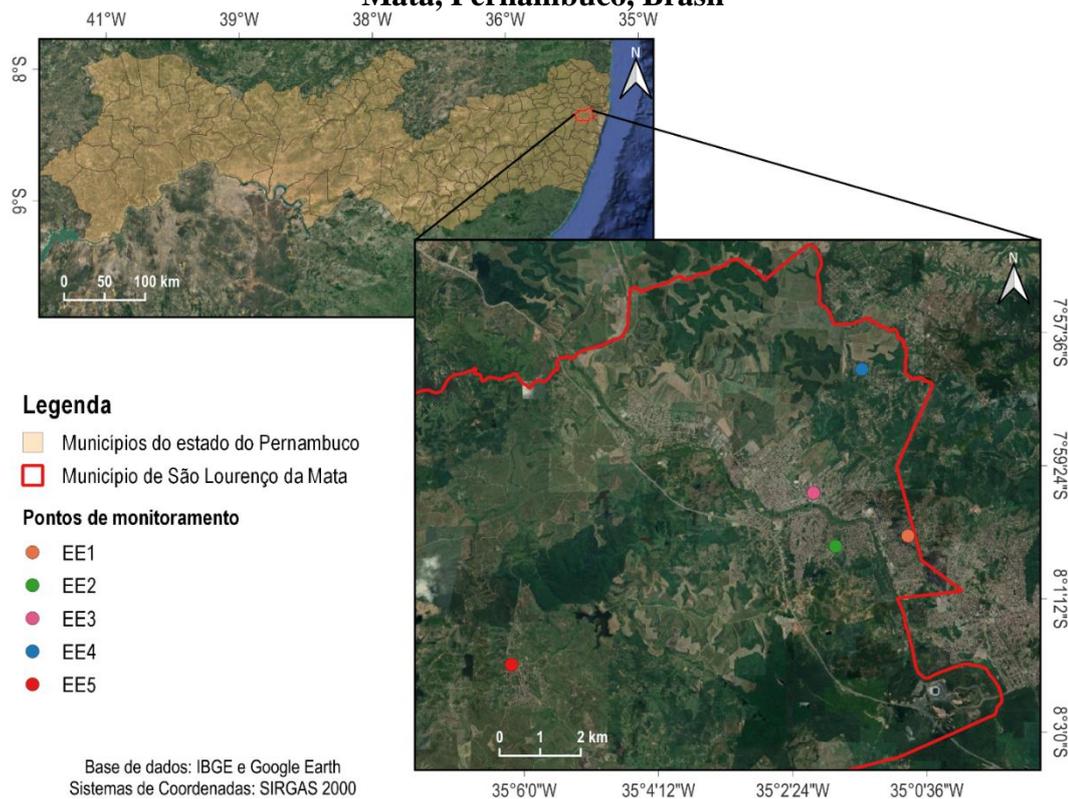
Por seu turno, segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ATLAS BR, 2010), o município está dentro da faixa média de desenvolvimento humano (0,600 - 0,699) apresentando um IDH de 0,653 (numa escala que vai até 1,0). Já o PIB do município é o 81º do estado de Pernambuco (IBGE, 2020).

4.2 Seleção e caracterização dos estabelecimentos de ensino

Por intermédio dos gestores ligados à secretária de educação do município, foram selecionadas 4 escolas e 1 creche para o desenvolvimento da pesquisa. Os gestores apontaram estes estabelecimentos de ensino como as mais susceptíveis à contaminação da água. Um dos estabelecimentos está localizado na zona rural, enquanto os outros quatro – incluindo a creche - na zona urbana. Os estabelecimentos de ensino monitorados estão indicados e georreferenciados na Figura 4. No decorrer do trabalho não é especificado o nome real das

escolas e creche, assim como, imagens que identifique as instituições não são utilizadas. Portanto, as instituições serão denominadas por “Estabelecimento de Ensino”: Estabelecimento de Ensino 1 (EE1), Estabelecimento de Ensino 2 (EE2), Estabelecimento de Ensino 3 (EE3), Estabelecimento de Ensino 4 (EE4) e Estabelecimento de Ensino 5 (EE5). O Estabelecimento de Ensino 3 (EE3) trata-se da creche, enquanto os outros estabelecimentos são as escolas.

Figura 4 – Localização das instituições monitoradas do município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil



Fonte: Autor (2023).

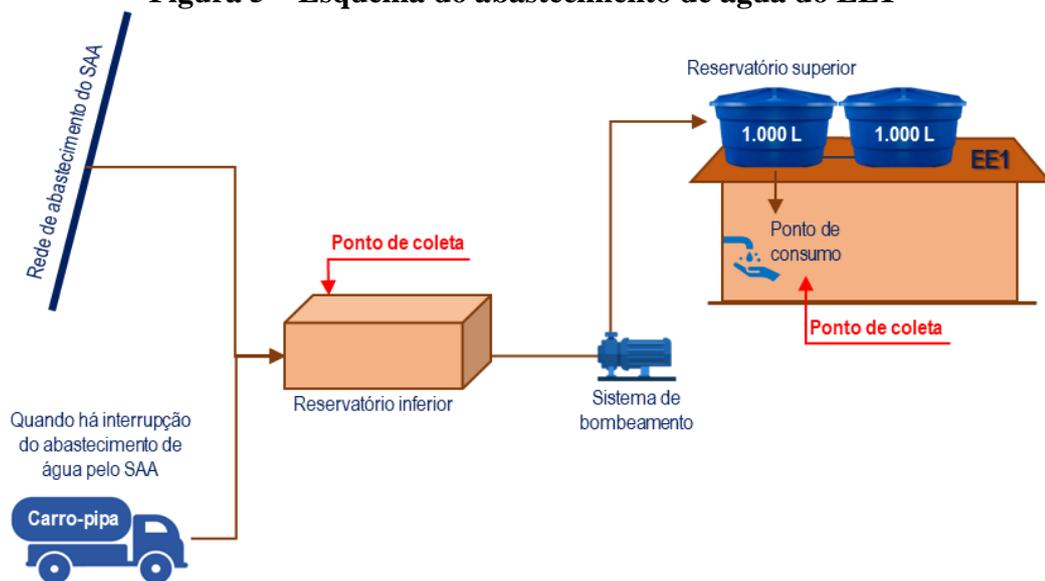
4.2.1 Estabelecimento de Ensino 1 (EE1)

O estabelecimento de ensino trata-se de uma unidade localizada do bairro Capibaribe, na zona urbana do município. Atualmente consta com 505 estudantes matriculados, subdivididos em ensino fundamental de anos iniciais, ensino fundamental de anos finais e a modalidade de Educação de Jovens e Adultos (EJA). A faixa etária dos estudantes, sem considerar os matriculados na modalidade EJA, é de 6 a 16 anos. O estabelecimento de ensino também contém 25 professores e 13 profissionais de demais funções. A unidade funciona nos turnos diurno e noturno.

A unidade dispõe de um reservatório de água inferior de concreto de volume desconhecido pelos gestores e funcionários da instituição, o qual é preenchido pela rede de abastecimento público da cidade (Sistema de Abastecimento de Água – SAA). A água ao chegar na instituição pela ligação predial, desagua primeiramente neste reservatório. Funcionários afirmaram que quando o nível do reservatório está baixo, devido à falta de água na rede, a demanda é suprida por carro-pipa, tendo este reservatório como unidade receptora dessas águas.

Do reservatório inferior, a água é bombeada para dois reservatórios de polietileno na parte superior da edificação, cada uma, com 1.000 L de capacidade de armazenamento. Destes reservatórios superiores, é feita a distribuição para as torneiras do estabelecimento. Segundo funcionários da instituição, a água é bombeada do reservatório inferior para os reservatórios superiores, duas vezes por semana. Sendo assim, o consumo diário de água no estabelecimento de ensino, é de aproximadamente 800 L. A Figura 5 ilustra de forma esquemática os componentes do abastecimento do EE1.

Figura 5 – Esquema do abastecimento de água do EE1



Fonte: Autor (2024).

Essa água não é utilizada em bebedouros ou para o preparo de alimentos. Para essas atividades, a prefeitura municipal fornece garrafões de 20 L de água mineral (Figura 6). Por dia, são gastos dez garrafões de água mineral no EE1.

Figura 6 – Bebedouro do EE1



Fonte: Autor (2023).

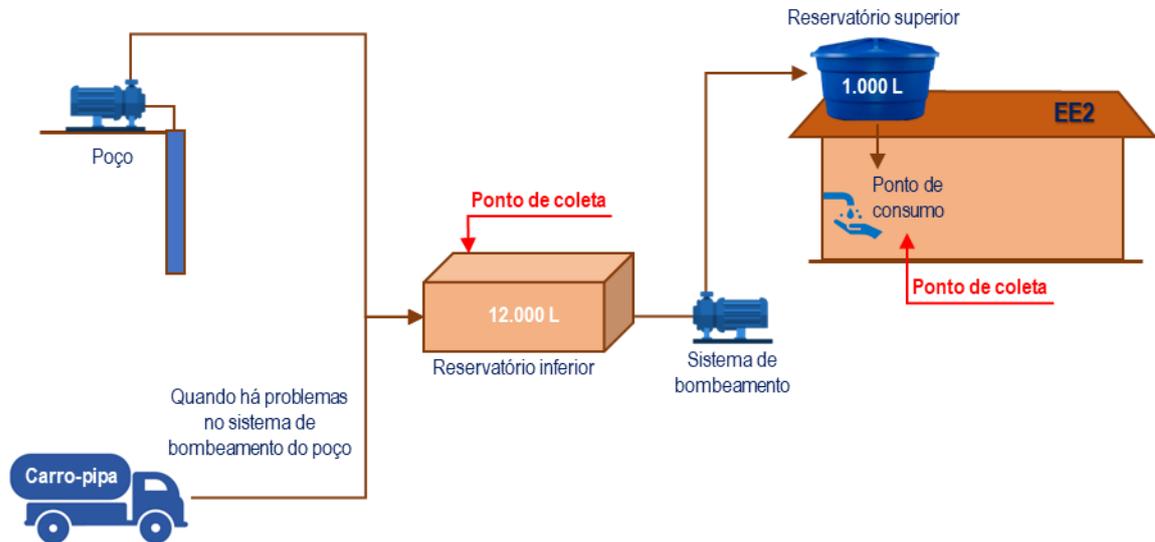
4.2.2 Estabelecimento de Ensino 2 (EE2)

O estabelecimento de ensino trata-se de uma unidade localizada do bairro Penedo, na zona urbana do município. Atualmente consta com 248 alunos matriculados, incluindo estudantes com deficiências (PcDs), subdividido em ensino infantil e ensino fundamental de anos iniciais. A faixa etária dos alunos é de 3 a 15 anos. O estabelecimento contém 11 professores efetivos, 11 auxiliares de sala e 12 profissionais de demais funções. A unidade funciona no período matutino e vespertino.

A unidade dispõe de um reservatório de água inferior de concreto com 12.000 L de capacidade, o qual é abastecido com água que advém de um poço localizado próximo a instituição (Solução Alternativa Individual – SAI). Esse poço, além de abastecer o estabelecimento de ensino, também é utilizado para fornecer água para algumas residências e comércios da região. A água do poço ao chegar na instituição por meio de tubulações, desagua primeiramente nesse reservatório. Funcionários afirmaram que quando o nível do reservatório está baixo, devido algum problema no bombeamento de água do poço, o reservatório é abastecido com água de carro-pipa.

Do reservatório inferior, a água é bombeada para um reservatório superior de polietileno, com capacidade de armazenamento de 1.000 L, da qual, em seguida, é feita a distribuição para as torneiras do estabelecimento de ensino. Segundo funcionários da instituição, por dia são consumidos cerca de 2.000 L de água. A Figura 7 ilustra de forma esquemática os componentes do abastecimento do EE2.

Figura 7 – Esquema do abastecimento de água do EE2



Fonte: Autor (2024).

Essa água que advém do poço não é utilizada em bebedouros ou para o preparo de alimentos. Para essas atividades a prefeitura fornece garrafões de 20 L de água mineral (Figura 8). Por dia, são gastos de quatro a cinco garrafões de água mineral no EE2.

Figura 8 – Local de armazenamento dos garrafões de água mineral fornecidos pela prefeitura municipal de São Lourenço da Mata - PE



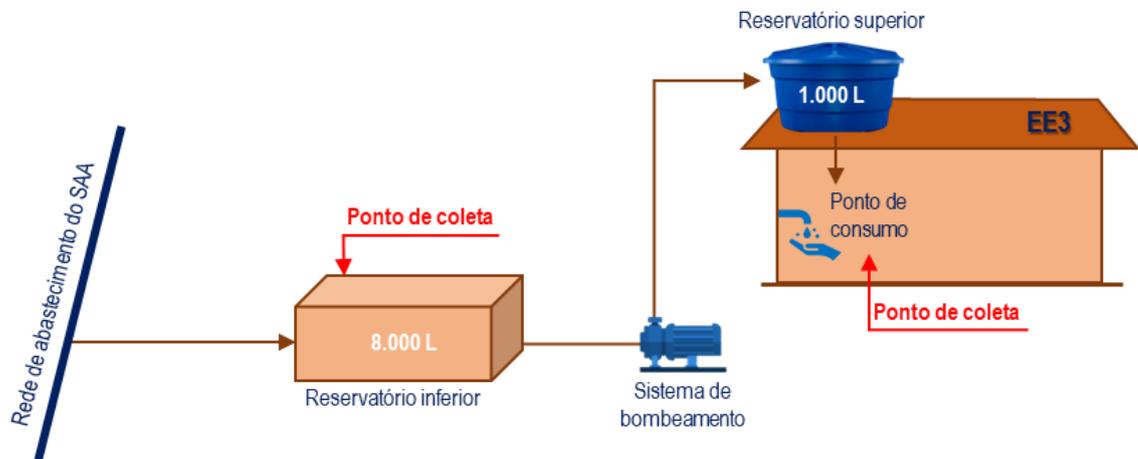
Fonte: Autor (2023).

4.2.3 Estabelecimento de Ensino 3 (EE3)

O estabelecimento de ensino trata-se de uma unidade localizada do bairro Chã da Tábua, na zona urbana do município. Atualmente consta com 60 alunos matriculados na modalidade de ensino infantil, com idade entre 2 e 4 anos, subdividido em três turmas de 20 alunos cada. O estabelecimento de ensino contém um corpo docente de 8 professores e 31 profissionais de demais funções. A unidade funciona no período matutino e vespertino.

A instituição dispõe de um reservatório de água inferior de concreto com capacidade de armazenamento de 8.000 L, o qual é abastecido pela rede de abastecimento do município (Sistema de Abastecimento de Água – SAA). A água ao chegar na instituição pela tubulação predial, desagua primeiramente neste reservatório. Do reservatório inferior, a água é bombeada para um reservatório superior de polietileno com capacidade de armazenamento de 1.000 L, da qual, em seguida, é feita a distribuição para as torneiras do estabelecimento. Segundo a gestora da instituição, a água é bombeada do reservatório inferior para o superior, duas vezes por dia. Sendo assim, o consumo diário de água no estabelecimento de ensino, é de aproximadamente 2.000 L. Grande parte desse volume é empregado em atividades de banho e lavagem de roupas. A Figura 9 ilustra de forma esquemática os componentes do abastecimento do EE3.

Figura 9 – Esquema do abastecimento de água do EE3



Fonte: Autor (2024).

Essa água não é utilizada em bebedouros ou para o preparo de alimentos. Para essas atividades, a prefeitura fornece garrafões de 20 L de água mineral. Por dia, são gastos quatro garrafões de água mineral no EE3.

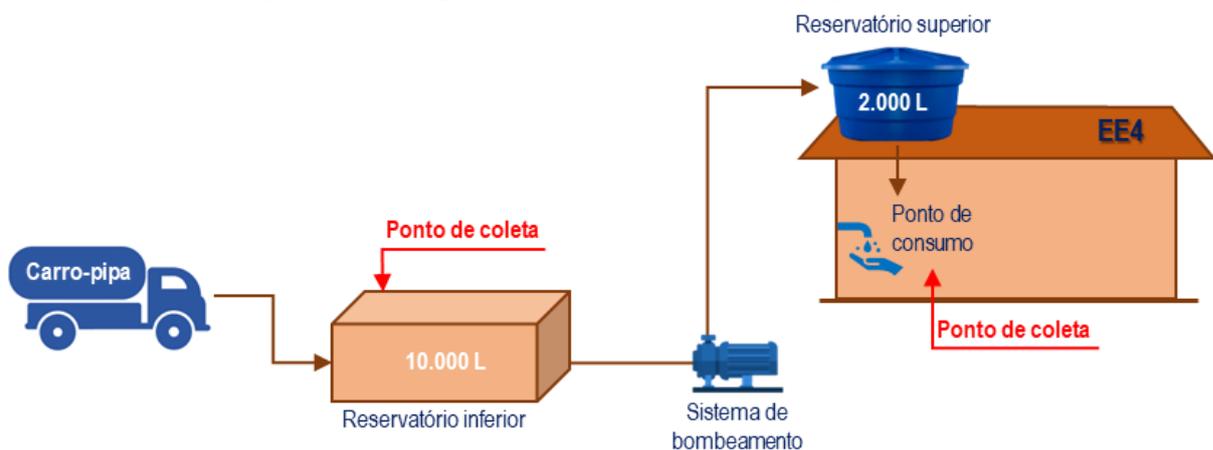
4.2.4 Estabelecimento de Ensino 4 (EE4)

O estabelecimento de ensino trata-se de uma unidade localizada do bairro Munguba, na zona urbana do município. Atualmente consta com 126 alunos matriculados, subdivididos em ensino infantil, ensino fundamental de anos iniciais e a modalidade de Educação de Jovens e Adultos (EJA), fases 1 e 2. A faixa etária dos alunos, sem considerar os matriculados na modalidade EJA, é de 4 a 12 anos. O estabelecimento de ensino conta com 9 professores e 8 profissionais de demais funções. A unidade funciona nos turnos diurno e noturno.

A instituição dispõe de um reservatório de água inferior de concreto com cerca de 10.000 L, o qual é abastecido por carro-pipa (Solução Alternativa Individual – SAI). O gestor do estabelecimento afirmou que o carro-pipa abastece o reservatório uma vez por semana, geralmente na terça-feira. Além de abastecer o estabelecimento de ensino, o reservatório fornece água para a unidade básica de saúde (UBS) localizado ao lado.

Desse reservatório inferior, a água é bombeada para um reservatório superior de polietileno, com capacidade de armazenamento de 2.000 litros, da qual, em seguida, é feita a distribuição para as torneiras. Segundo o gestor da instituição, a água é bombeada do reservatório inferior para o superior, cerca de três vezes por semana. Assim, o consumo diário de água no estabelecimento de ensino, é de aproximadamente 600 L. A Figura 10 ilustra de forma esquemática os componentes do abastecimento do EE4.

Figura 10 – Esquema do abastecimento de água do EE4



Fonte: Autor (2024).

Essa água não é utilizada em bebedouros ou para o preparo de alimentos. Para essas atividades, a prefeitura fornece garrações de 20 L de água mineral (Figura 11). Por dia, são gastos de quatro a cinco garrações de água mineral no EE4.

Figura 11 – Bebedouro do EE4



Fonte: Autor (2023).

4.2.5 Estabelecimento de Ensino 5 (EE5)

O estabelecimento de ensino trata-se de uma unidade localizada na comunidade Matriz Nossa Senhora da Luz na zona rural do município. Atualmente consta com 578 alunos matriculados, subdivididos em ensino fundamental de anos finais e a modalidade de Educação de Jovens e Adultos (EJA). A faixa etária dos alunos, sem considerar os matriculados na modalidade EJA, é de 10 a 18 anos. O estabelecimento de ensino conta com 26 professores e 27 profissionais de demais funções. A unidade funciona nos turnos diurno e noturno.

A instituição dispõe de duas caixas d'água de polietileno com 5.000 L cada, instaladas na parte externa da instituição (Figura 12). Além disso, o estabelecimento de ensino consta com outra caixa d'água de polietileno de 5.000 L, instalada na parte superior de uma edificação de proteção, configurando um reservatório elevado (Figura 13).

Figura 12 – Caixas d'água no pátio da instituição



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 – Edificação para proteção da caixa d'água superior



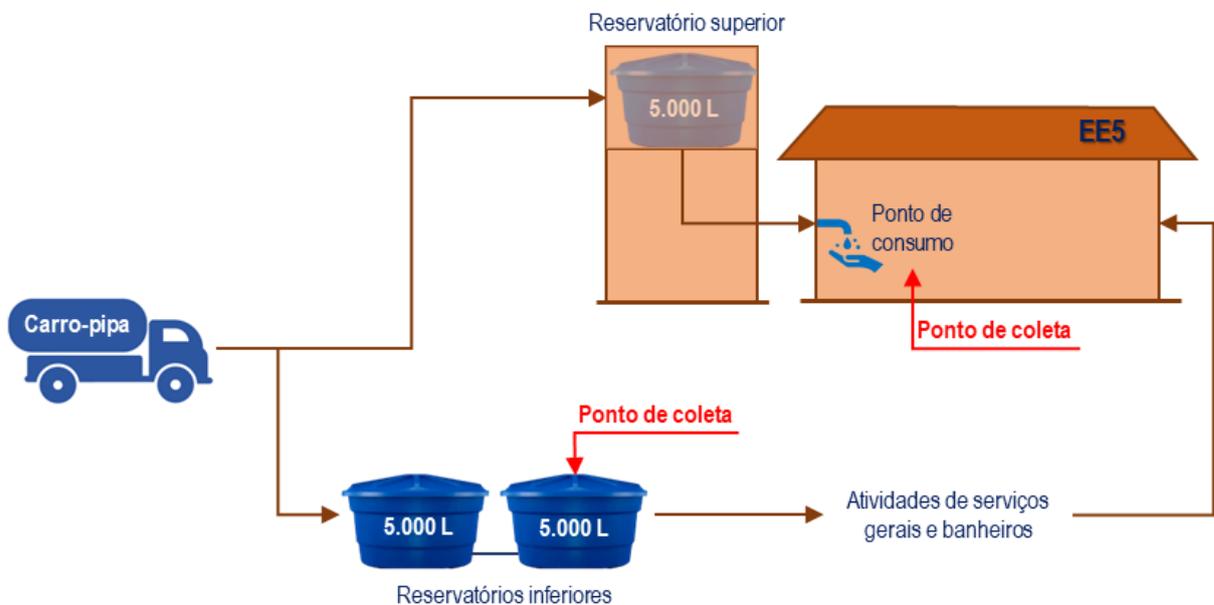
Fonte: Autor (2023).

Tanto os reservatórios inferiores, quanto o superior, é abastecido por carro-pipa (Solução Alternativa Individual – SAI). O gestor da instituição, informou que a água dos dois reservatórios inferiores é utilizada para atividades de serviços gerais e nos banheiros, tanto pelo estabelecimento municipal, como pelo estabelecimento de ensino estadual, localizada ao lado.

Já a água do reservatório superior tem ligação predial apenas para a cozinha da instituição, sendo utilizada na preparação de alimentos. Já em relação aos bebedouros, a prefeitura fornece garrafas de 20 L de água mineral. Os funcionários da instituição não souberam informar quantos garrafas de água mineral são utilizados por dia no EE5.

Costumeiramente, com raras exceções, o carro-pipa costuma abastecer os reservatórios na terça-feira, conforme informado pelo gestor. Todavia, a reserva de água do estabelecimento costuma acabar no dia anterior. Funcionários da instituição não souberam informar a quantidade de água consumida por dia. A Figura 14 ilustra de forma esquemática os componentes do abastecimento do EE5.

Figura 14 – Esquema do abastecimento de água do EE5



Fonte: Autor (2024).

O Quadro 2 contém um resumo com os principais dados dos Estabelecimentos de Ensino (EE) monitorados.

Quadro 2 – Quadro resumo das características dos Estabelecimentos de Ensino

Estabelecimento de Ensino	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5
Bairro	Capibaribe	Penedo	Chã da Tábua	Munguba	Matriz Nossa Senhora da Luz
Zona	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Rural

Estudantes matriculados	505	248	60	126	578
Modalidade de Ensino	Ensino fundamental de anos iniciais, finais e EJA	Ensino infantil e fundamental de anos iniciais	Ensino infantil	Ensino infantil, fundamental de anos iniciais e EJA	Ensino fundamental de anos finais e EJA
Faixa etária	6 - 16 anos	3 - 15 anos	2 - 4 anos	4 - 12 anos	10 - 18 anos
Professores	25	11	8	9	26
Demais funcionários	13	23	31	8	27
Fonte de abastecimento	SAA e SAI	SAI	SAA	SAI	SAI
Consumo diário	800 L	2000 L	2000 L	600 L	-

SAA – Sistema de Abastecimento de Água; SAI – Solução Alternativa Individual.

Fonte: Autor (2024).

4.3 Avaliação da qualidade da água dos estabelecimentos de ensino

Em cada estabelecimento de ensino, as coletas foram realizadas em dois pontos: torneira da cozinha (Ponto de Consumo) (Figura 15) e no Reservatório inferior (Figura 16). Os pontos de coleta de cada estabelecimento de ensino podem ser visualizados nos esquemas das Figuras 5, 7, 9, 10 e 14, para EE1, EE2, EE3, EE4, e EE5, respectivamente.

Figura 15 – Pontos de coleta (Ponto de consumo) do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D)

e EE5 (E)



Fonte: Autor (2023).

Figura 16 – Ponto de coleta (Reservatório inferior) do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)



Fonte: Autor (2023).

Vale salientar, que no EE5, a coleta de água do reservatório inferior, não foi realizada diretamente no reservatório, como aconteceu nos outros estabelecimentos. Neste caso, a coleta foi realizada na primeira torneira com saída de água vinda do reservatório. Tal procedimento foi adotado devido a dificuldade operacional de coletar água de um reservatório de 5.000 L instalada no piso do pátio da instituição.

As coletas seguiram a metodologia estabelecida pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011). Em todas as instituições as coletas foram realizadas no mesmo dia, uma vez por mês, entre março e novembro de 2023. No mês de julho, devido problemas de logística, não foi possível realizar a coleta. Porém, no mês de agosto foram realizadas duas coletas.

As amostras seguiram para o Laboratório de Análises de Minerais, Solos e Água (LAMSA) e o Laboratório de Microbiologia do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Ressalta-se que nos meses de março, junho e setembro, foram coletados 1,5 L de água de cada ponto monitorado, com o intuito de realizar análise de 23 parâmetros de potabilidade definidos pelo Anexo XX da PRC nº 5/2017. Nos outros meses do ano foram coletadas 500 mL de água de cada ponto monitorado para ser realizada apenas as análises dos parâmetros que compõem o plano de amostragem básico, indicadores sentinelas (pH, cloro livre, cor aparente e turbidez), definidos pela Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Brasil, 2016). Em relação a qualidade microbiológica, foram realizadas análises de Coliformes totais e *E. coli* em todos os meses. As metodologias empregadas para as análises físico-químicas e microbiológicas seguiram o estabelecido pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) e podem ser verificadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água monitorados e suas respectivas metodologias

Parâmetro	Unidade	Metodologia (APHA, 2017)
pH	-	Método nº 4500 - H ⁺ B
Cloro livre	mg/L	Método nº 4500 - Cl G
Cor aparente	uH	Método nº 2120 C
Turbidez	uT	Método nº 2130 B
Alcalinidade em bicarbonatos	mg/L	Método nº 2320 B
Alcalinidade em carbonatos	mg/L	Método nº 2320 B
Alcalinidade em hidróxidos	mg/L	Método nº 2320 B
Alcalinidade total	mg/L	Método nº 2320 B

Amônia	mg/L	Método n° 4500-NH ₃ F
Nitrito	mg/L	Método n° 4500-NO ₂ ⁻ B
Nitrato	mg/L	Método n° 4500-NO ₃ ⁻ B
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	Método n° 2540
Condutividade elétrica	μS/cm	Método n° 2510 B
Dureza de cálcio	mg/L	Método n° 3500-Ca B
Dureza de magnésio	mg/L	Método n° 3500-Mg B
Dureza total	mg/L	Método n° 2340 C
Ferro	mg/L	Método n° 3500-Fe B
Manganês	mg/L	Método n° 3500-Mn B
Cloretos	mg/L	Método n° 4500-Cl ⁻ B
Sulfatos	mg/L	Método n° 4500-SO ₄ ²⁻ E
Alumínio	mg/L	Método n° 3500-Al B
Sódio	mg/L	Método n° 3500-Na B
Potássio	mg/L	Método n° 3500-K B
Coliformes totais	Ausência/presença em 100 mL	Método n° 9223 B
<i>Escherichia coli</i>	Ausência/presença em 100 mL	Método n° 9223 B

Fonte: Autor (2023).

4.3.1 Análise dos dados

Foi aplicada estatística descritiva (média e desvio padrão) para verificar a tendência central dos dados. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilks. A fim de verificar se há uma degradação da qualidade da água dentro dos estabelecimentos de ensino, entre o reservatório e o ponto de consumo, foi aplicado testes de comparação para dados pareados, o teste paramétrico *t-student* quando era observado distribuição normal dos dados e o teste não paramétrico de Wilcoxon quando os dados não obedeciam a distribuição normal.

Todas as análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 5% utilizando o *software* Past 4.03.

4.4 Análise de Risco

Na análise de risco do presente trabalho foi considerado e desenvolvido as etapas de identificação dos perigos, análise dos efeitos e estimativa dos riscos e avaliação dos riscos, sendo as outras etapas que envolvem o gerenciamento do risco, não contempladas no referido estudo. Para o desenvolvimento desta análise de risco foi utilizado o método Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA), para verificar o risco à saúde associado à qualidade da água fornecida para as unidades de ensino.

4.4.1 Planejamento

O objeto de estudo foi a água fornecida (SAA ou SAI) aos estabelecimentos de ensino do município de São Lourenço da Mata – PE. A equipe multidisciplinar avaliadora, com conhecimento sobre o tema foi formada por cinco especialistas, sendo: uma doutora em Engenharia Química, um doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, um mestre em Engenharia Civil e Ambiental e dois Bacharéis em Engenharia Sanitária e Ambiental. Na reunião realizada no mês de dezembro de 2023 com todos os integrantes da equipe foi entregue um modelo de formulário (Apêndice A) para a construção de um FMEA, uma tabela de escore e os dados dos nove meses de monitoramento da água das instituições.

4.4.2 Análise de falhas em potencial

Nesta etapa foi construído o formulário FMEA. Na definição das falhas potenciais foram levados em consideração quatro parâmetros físico-químicos e dois parâmetros microbiológicos com valores máximos ou mínimos permitidos pelo Anexo XX da PRC nº 5/2017 (Brasil, 2017) que trata dos parâmetros de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Sendo assim, foram listados oito perigos: alto pH, baixo pH, alto teor de cloro livre, baixo teor de cloro livre, alta cor aparente, alta turbidez, presença de coliformes totais e presença de *E. coli*.

Em seguida, na construção do formulário FMEA, foram listados os efeitos das falhas caso ocorram. Segundo Ogata (2011), os efeitos são os inconvenientes provocados pela falha. Em continuidade foram listadas as causas que levam as falhas. Por fim, foram elencadas as medidas mitigadoras, que de acordo com Ogata (2011) e Lucena (2018) são todas as ações que podem ser aplicadas para evitar, diminuir, compensar ou reparar cada falha e seus efeitos.

4.4.3 Avaliação dos riscos

Nesta etapa, foi realizada a avaliação da representatividade dos perigos listados na segunda etapa, quantificando-os. Para isso, foram definidos os escores/índices de severidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e abrangência do risco (A). Ao final, foi realizado o cálculo do risco (R), por meio da multiplicação dos valores dos escores ($R = S \times O \times D \times A$). Quanto maior o R maior a urgência em adotar ações corretivas ou de compensação. Apesar disso, Pedrosa (2014) destaca que caso o índice de severidade seja alto, deve-se tomar atitudes

urgentes, independentemente do valor de R.

Destaca-se que foi construído um formulário FMEA para o Reservatório inferior (Ponto A) e para o Ponto de Consumo (Ponto B) de cada estabelecimento de ensino. Desse modo, foi obtido inicialmente dois valores de R para cada estabelecimento de ensino. Os escores atribuídos aos aspectos analisados (severidade, ocorrência, detecção e abrangência) variaram de 1 a 3 de acordo com a Tabela 1 adaptado por Rodrigues (2014) e Ogata *et al.* (2016) a partir do trabalho de Zambrano e Martins (2007).

Tabela 1 – Valores de escores para os aspectos analisados

Escore	Severidade	Classificação
Alta	Substância causa efeitos graves ou agudos à saúde humana e apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	3
Moderada	Substância causa efeitos leves ou crônicos à saúde humana — irritações ou alergias —, com longo tempo de decomposição.	2
Baixa	Substância não causa efeitos negativos à saúde humana e possuem curto tempo de decomposição.	1
Escore	Ocorrência	Classificação
Alta	Ocorrência de 5% a 100% de não conformidades.	3
Moderada	Ocorre não conformidade em até 5% das amostras analisadas.	2
Baixa	Não existe não conformidade.	1
Escore	Detecção	Classificação
Alta	Para detectar a não conformidade, é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas — financeira e temporalmente.	3
Moderada	A não conformidade é percebida com a utilização de medições simples — titulações, pH metros, turbidímetros, entre outros.	2
Baixa	A não conformidade pode ser percebida a olho nu.	1
Escore	Abrangência	Classificação
Alta	A não conformidade afeta funcionários e estudantes das instituições.	3
Baixa	A não conformidade não afeta ninguém.	1

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2014) e Ogata *et al.* (2016).

4.4.4 Classificação qualitativa do risco

Para a classificação do risco em termos de prioridade do risco, foi realizada uma hierarquização dos resultados de modo a se obter o risco mais significativo e menos significativo para os pontos A e B de cada estabelecimento de ensino. Para tanto, adotou-se a metodologia empregada por Lucena (2018) para obter o percentual de cada risco em relação ao risco total do consumo da água de cada ponto.

$$P = \frac{R_1}{\sum_1^n R} \quad (1)$$

Onde:

P = Ponderação;

R₁ = Risco individual;

N = Quantidade de risco;

∑ R = Soma de todos os riscos.

Por fim, considerando que todos os índices de severidade (S), ocorrência (O), detecção (D) e abrangência do risco (A), para um determinado ponto, receba classificação máxima (valor 3) para os oito perigos, a soma total do risco (R) desse ponto será no máximo 648 pontos, configurando-se uma situação totalmente indesejável. Assim, este valor de 648 pontos foi dividido em quartis e cada quartil representou uma faixa de risco (Tabela 2), com o objetivo de tornar a avaliação do risco em uma informação mais representativa e de melhor compreensão.

Tabela 2 – Classificação do risco

Pontos	Classificação
0 - 161	Baixo
162 - 323	Moderado
324 - 485	Alto
486 - 648	Crítico

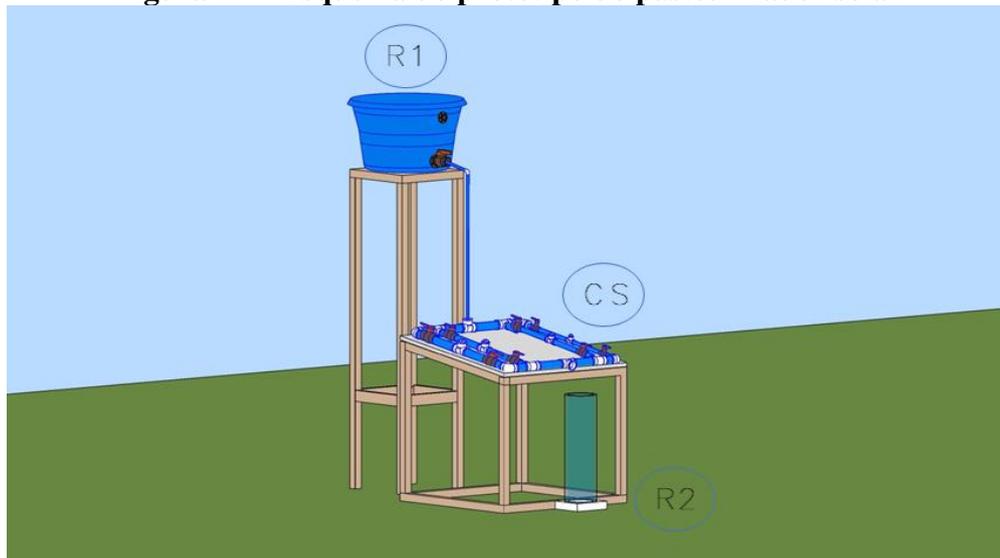
Fonte: Autor (2023).

4.5 Desenvolvimento do sistema de pasteurização solar (SOPAS)

4.5.1 Construção do sistema

Para a construção do pasteurizador solar foi levado em consideração características climáticas, área útil disponível para instalação, simplicidade arquitetônica e de operação e o baixo custo para a construção. O pasteurizador solar funcionou em sistema de batelada e foi composto por um reservatório de água a ser tratada, um coletor solar, um reservatório de água tratada e componentes hidráulicos. Na Figura 17 é possível verificar o projeto conceitual em perspectiva do SOPAS, enquanto na Figura 18, é possível verificar o sistema que foi construído e operado em escala real.

Figura 17 – Esquema do protótipo do pasteurizador solar



R1 – Reservatório de água a ser tratada; CS – Coletor solar; R2 – Reservatório de água tratada.
Fonte: Autor (2023).

Figura 18 – Pasteurizador Solar

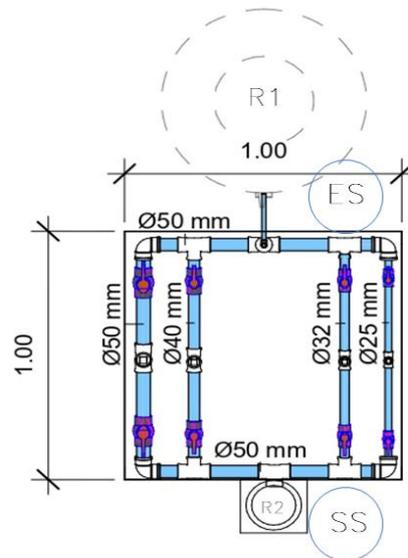


Fonte: Autor (2023).

A base do pasteurizador foi construída com madeira do tipo “caibro”. O coletor solar foi feito utilizando uma chapa de alumínio e tubulações prediais soldáveis de água do tipo PVC. Foram fixadas sobre a chapa tubos de quatro diâmetros diferentes (25, 32, 40 e 50 mm). Esses tubos de PVC foram revestidos com tinta preta, com o intuito de aumentar o calor dentro das

tubulações e, assim, aquecer mais rápido a água. No início e no final dos tubos coletores foram instaladas válvulas de globo para o controle do fluxo de água. Utilizou-se um barrilete de 5 L como reservatório de água a ser tratada e uma proveta de 2 L como reservatório de água tratada. A planta baixa e a vista lateral do pasteurizador, com todas as cotas em metro, pode ser verificada nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

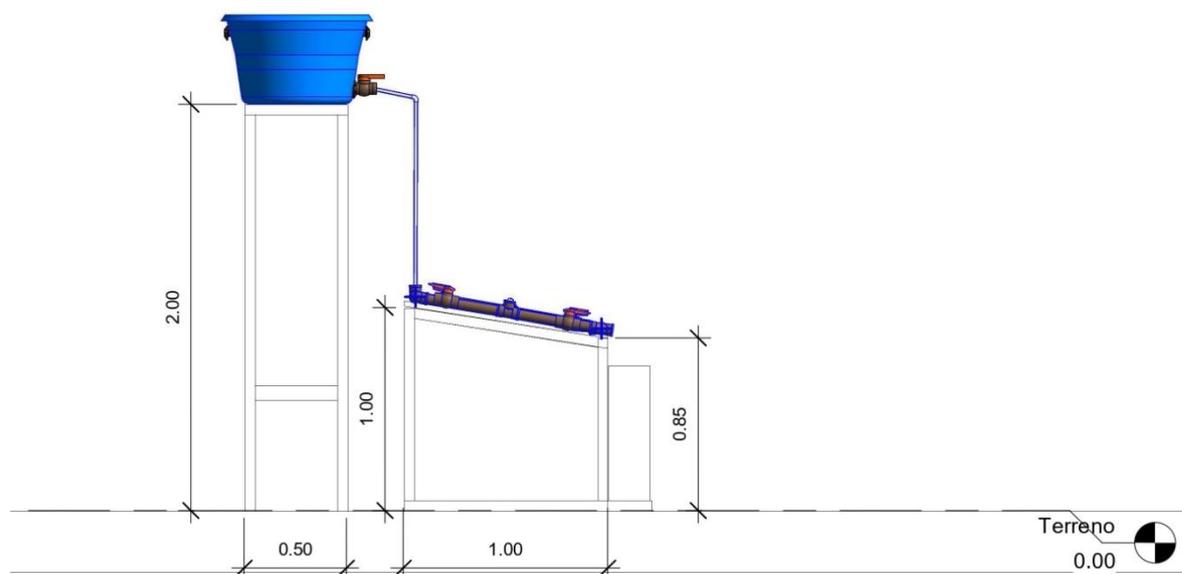
Figura 19 – Planta baixa do pasteurizador solar



R1 – Reservatório de água a ser tratada; ES – Entrada do sistema; R2 – Reservatório de água tratada; SS – Saída do sistema.

Fonte: Autor (2023).

Figura 20 – Vista lateral do pasteurizador solar



Fonte: Autor (2023).

O sistema foi instalado em direção ao norte geográfico e construído com um ângulo de inclinação de 8.63° , próximo ao valor da latitude local do Departamento de Engenharia Química da UFPE, de 8.05° . Também foi construído uma estrutura de suporte em madeira do tipo “caibro” para o reservatório de água a ser tratada. A estrutura necessitou ter uma altura de 2,0 m, para que a água fluísse para o coletor solar apenas pela ação da gravidade (Figura 21).

Figura 21 – Estrutura de suporte



Fonte: Autor (2023).

4.5.2 Condições operacionais

A partir dos resultados das análises microbiológicas dos seis primeiros meses (março a agosto de 2023) do monitoramento da água dos estabelecimentos de ensino selecionadas do município de São Lourenço da Mata – PE, foi definido que os testes de pasteurização seriam realizados com a água do EE4, por se tratar de uma instituição localizada em uma comunidade carente e devido a suscetibilidade a contaminação microbiológica da água. Assim, foram coletados 80 L de água na instituição, em quatro garrafas de 20 L, e encaminhados para a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, no município vizinho de Recife, cujas características climáticas são bastante semelhantes. O sistema foi operado e monitorado no

pátio externo do Departamento de Engenharia Química da universidade.

A água a ser tratada fluiu do barrilete para as tubulações internas do coletor solar. Os tubos do coletor solar foram gradualmente aquecidos pela radiação solar direta e refletida pela chapa de alumínio localizada abaixo das tubulações.

As válvulas superiores dos tubos coletores eram abertas manualmente até o preenchimento da tubulação com a água a ser tratada, enquanto as válvulas inferiores ficavam fechadas. Nos momentos de coleta de água após o tratamento (a cada hora), as válvulas inferiores eram abertas e apenas fechadas quando as tubulações esvaziavam. A temperatura no interior dos tubos coletores foi medida através de um termômetro químico de mercúrio. Cada tubulação constava de um compartimento, no qual, era inserido o termômetro e verificada a temperatura da água (Figura 22).

Figura 22 – Medição da temperatura da água dentro da tubulação



Fonte: Autor (2023).

4.5.3 Monitoramento do sistema

O monitoramento do sistema ocorreu em um dia do mês de dezembro de 2023. Este mês corresponde ao final da estação da primavera e início da estação de verão, cujas características climáticas, sobretudo no Nordeste Brasileiro, são de altas temperaturas e poucas chuvas (APAC, 2020). A radiação média solar no ângulo igual a latitude é de $5,66 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$ para o

local dos testes (CRESESB, 2023). Com o monitoramento, objetivou-se determinar a temperatura de pasteurização e verificar a influência dos diâmetros das tubulações na inativação dos microrganismos em estudo.

Inicialmente foi coletado do barrilete de PVC que continha a água a ser pasteurizada, três amostras do líquido para quantificação de Coliformes totais e *E. coli*, antes do tratamento. Em seguida, a água a ser tratada foi introduzida no coletor solar e o monitoramento iniciou às 09h00min, tendo o seu término às 15h00min, correspondendo a 6 h de monitoramento. Foram coletadas três amostras de cada tubulação (25, 32, 40 e 50 mm) a cada hora de monitoramento, para quantificação de Coliformes totais e *E. coli*. A primeira coleta foi realizada às 10h00min. No momento da coleta era verificado a temperatura local e a temperatura da água no interior das tubulações. Procedeu-se a coleta das amostras de água em frascos de plástico estéril de 100 mL e a temperatura local foi visualizada com o aplicativo “*The Weather Channel*”. Todas as coletas, análises e medições foram realizadas em triplicata.

Foram coletadas 72 amostras de água na saída do pasteurizador para a quantificação de Coliformes totais e posterior quantificação de *E. coli*, nos casos necessários. A água não coletada, mas tratada, eram direcionadas para o reservatório de água tratada a jusante do SOPAS.

As análises de Coliformes totais e *E. coli* foram realizadas de acordo com a metodologia descrita no Método nº 9223 B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). Para quantificação de Coliformes totais e *E. coli*, utilizou-se cartelas Quanti-Tray/2000.

4.5.4 Análise dos dados

Foi aplicado estatística descritiva (média e desvio padrão) para verificar a tendência central dos dados. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilks. A fim de verificar se há diferença significativas no processo de inativação de Coliformes totais e *E. coli* pelo SOPAS, entre a água a ser tratada e a água após o tratamento, foi utilizado a ANOVA *one-way*, seguido pelo teste de comparações múltiplas de Tukey. Todas as análises estatísticas foram realizadas considerando um nível de significância de 5% utilizando o *software* Past 4.03.

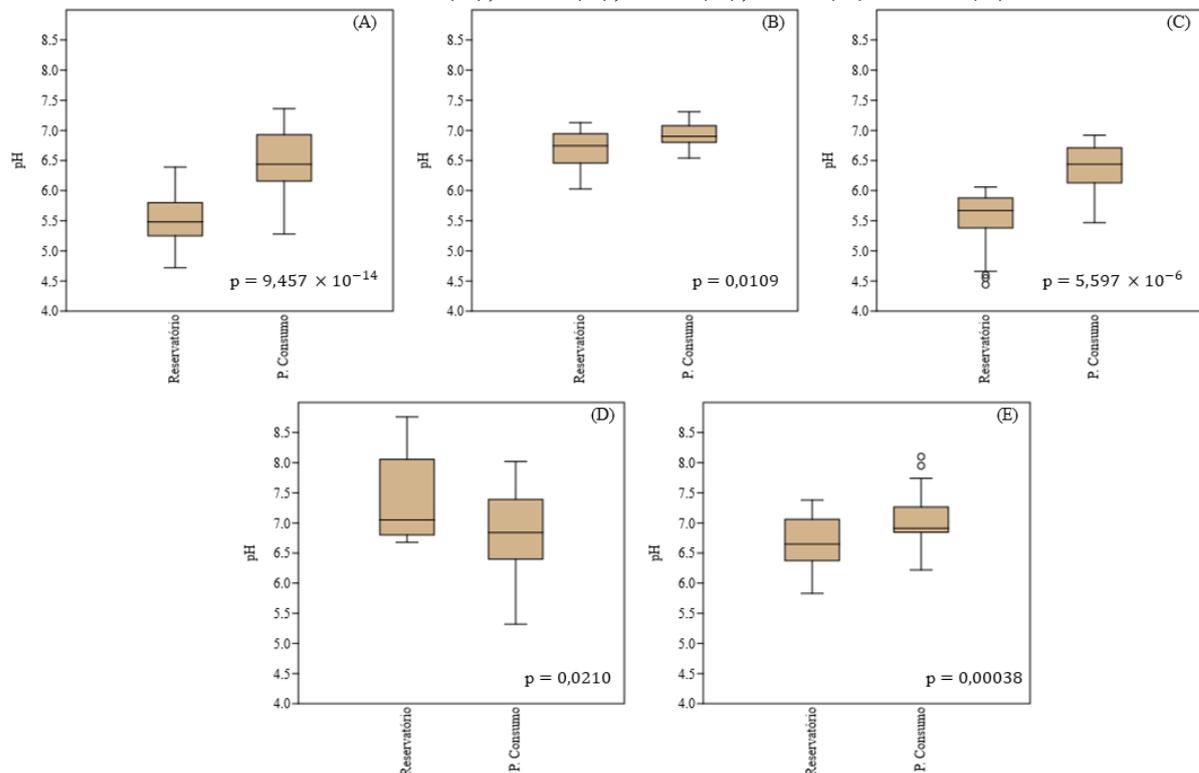
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Monitoramento da qualidade da água

5.1.1 pH

Na Figura 23 têm-se os resultados de pH em gráficos para o Reservatório Inferior e para o Ponto de Consumo de todos os estabelecimentos de ensino. Foi observada diferença estatisticamente significativa entre a água armazenada no Reservatório e a água que chega até o Ponto de Consumo em todos os estabelecimentos de ensino ($p < 0,05$).

Figura 23 – Variabilidade dos dados de pH no reservatório inferior e no ponto de consumo do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)



Fonte: Autor (2023).

Observa-se para o EE1 (Figura 23A), que a água do Reservatório apresentou valores mais ácidos, sendo o menor valor encontrado no mês de março de 4,72. Exceto no mês de outubro, a água ficou abaixo de 6,0. No Ponto de Consumo a água estava mais próxima da neutralidade, com valores médios entre 6,0 e 7,0. A água ficou abaixo de 6,0, apenas no mês de março. De maneira geral, percebe-se que há uma pequena variação entre os dois pontos, todavia,

o Ponto de Consumo tem uma maior variabilidade de valores em relação ao pH do Reservatório, motivo este, que pode estar relacionado aos processos de dissolução de substâncias químicas dentro das tubulações prediais, substâncias estas, presentes na própria água ou oriundas da tubulação condutora e que são sensíveis a mudanças físicas do meio ou reações com outras espécies químicas, como a redução de cloro devido a presença de microrganismos e substâncias húmicas causadoras de cor na água (Brasil, 2006; Lopes; Magalhães Júnior, 2010).

Em termos médios os valores de pH sempre são mais elevados tanto no Reservatório quanto no Ponto de Consumo, mas mantendo-se entre levemente ácida a neutra. No mês de maio e setembro, o estabelecimento de ensino teve o Reservatório abastecido por carro-pipa, dias antes das coletas, no entanto, não foi verificada alterações no pH cabíveis de nota.

No EE2 (Figura 23B), os valores de pH no Reservatório e no Ponto de Consumo encontram-se entre 6,5 e 7,0. Esta pequena variação pode estar relacionada a origem desta água. Por ser uma água oriunda de um poço, a água não percorre grandes distâncias por redes de distribuição e geralmente não é submetida a processos de tratamento químicos ou físicos, exceto quando é adicionado desinfetante no Reservatório de água. Segundo a Braga *et al.* (2018), o pH das águas subterrâneas apresenta uma variação entre 5,5 e 8,5.

No EE3 (Figura 23C), observa-se que a água assume um caráter mais ácido. Em termos médios, no Reservatório os valores situaram-se próximos a 5,5, sendo o menor valor encontrado de 4,44 no mês de junho. Neste mês, o valor médio do pH no Reservatório foi de 4,53 afastando-se significativamente dos valores médios dos outros meses e, portanto, na análise estatística foram observados como *outliers*.

Já para o Ponto de Consumo, os valores médios de pH situaram-se entre 6,0 e 7,0. Também no mês de junho, o Ponto de Consumo apresentou o menor valor registrado: 5,84. Este fato mostra uma coerência dos dados em relação ao pH analisado no Reservatório e no Ponto de Consumo. Em termos médios, os valores de pH sempre são mais ácidos nos dois pontos, e em todos os meses, o Ponto de Consumo apresentou maior pH que o Reservatório.

No EE4 (Figura 23D) observa-se que os valores de pH indicam condições alcalinas. Tal fato se relaciona com a presença de Bicarbonatos e Carbonatos na água, pois na faixa entre 4,4 e 8,3 a água pode possuir acidez e alcalinidade simultaneamente devido ao equilíbrio gás carbônico/bicarbonato/carbonato, podendo neutralizar uma ação externa através do deslocamento deste equilíbrio de dois estágios, sem que o pH varie drasticamente (Piveli, 2015).

No Reservatório, os valores de pH situaram-se entre 6,68 e 8,76. Já para o Ponto de Consumo, os valores encontrado estavam entre de 5,32 e 8,02. Dessa forma, percebe-se valores

extremos mais alcalinos no Reservatório e valores extremos mais ácidos na torneira da cozinha, motivo este, que pode estar relacionado as condições estruturais, estado de conservação e ao local com bastante vegetação que o reservatório está instalado.

Já para o EE5 (Figura 23E) não é possível fazer uma inferência comparativa entre a água do Reservatório e a água do Ponto de Consumo, já que os dois pontos não estão interligados. De forma geral, em termos médios, as duas águas apresentam valores na faixa de neutralidade.

Em todos os meses monitorados, com pequenas exceções, o pH da água de todos os estabelecimentos, nos dois locais monitorados ficou na faixa entre 4,5 e 8,5. Para mais, nesta faixa de pH, entende-se que a alcalinidade dessa água é expressa apenas em termos de bicarbonatos. Esse fato pode ser comprovado na leitura de alcalinidade apresentada nas Tabelas 3 e 4. Por outro lado, verifica-se em três dos cinco estabelecimentos (EE1, EE2 e EE3), um aumento em termos médios do pH entre o Reservatório e a torneira da cozinha. Tal fato pode ser justificado pelo aumento da temperatura, que naturalmente acontece na tubulação de distribuição dessa água por se tratar de tubulações enterradas e localizadas em uma região de clima quente. Além disso, ao sair do Reservatório inferior a água passa por um período de detenção em reservatórios superiores de polietileno expostas ao sol, antes de seguir para as torneiras das instituições. Esses fatores aumentam a temperatura da água. Segundo Lopes e Magalhães Júnior (2010), o pH apresenta uma grande variabilidade natural derivadas da dissolução de matéria orgânica e oscilações de temperatura e radiação solar.

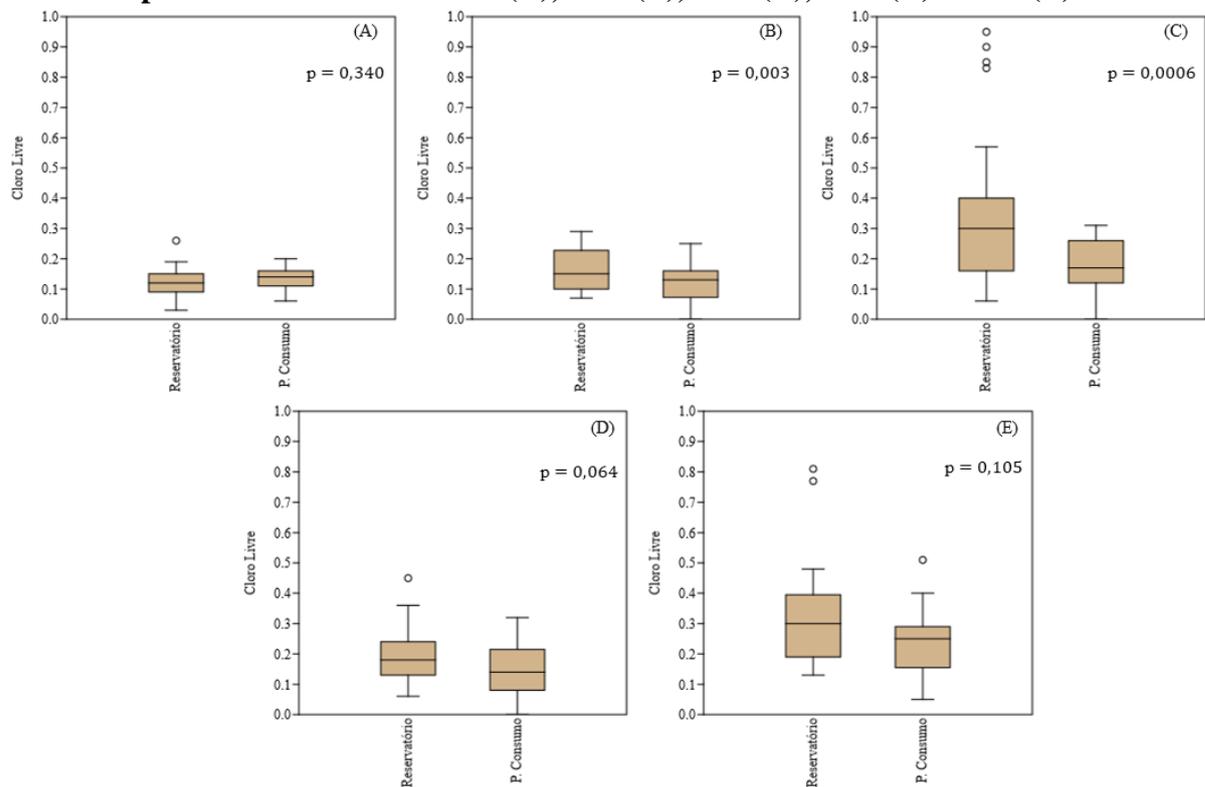
A alcalinidade de bicarbonatos é equivalente à dureza temporária da água. Na dureza temporária, o cálcio e o magnésio estão associados aos bicarbonatos ou carbonatos (Tabela 3 e 4). Assim, com o aumento da temperatura, ocorre uma diminuição da dureza, devido a precipitação do carbonato e conseqüentemente uma leve alteração no valor de pH (Libânio, 2010).

Segundo Libânio (2010), o valor de pH da água de abastecimento não apresenta efeitos adversos a saúde humana, portanto, não há indicação na Portaria em vigor do Ministério da Saúde nº 5/2017 (Brasil, 2017), de um valor máximo ou mínimo permitido. Todavia, como o pH interfere em diversas vertentes da potabilização da água para consumo humano, a Portaria explicita alguns valores recomendados de pH da água que não interfira em processos unitários, como por exemplo, a desinfecção com compostos de cloro. Além disso, o pH ainda pode interferir na formação de incrustações (valores de pH muito altos) ou corrosões (valores de pH muito baixos) na rede de distribuição, por isso a importância de seu monitoramento para não diminuir a vida útil do sistema de distribuição (Libânio, 2010).

5.1.2 Cloro residual livre

Na Figura 24 têm-se os resultados para o parâmetro cloro livre tanto no Reservatório quanto no Ponto de Consumo de todos os estabelecimentos de ensino. Para os EE1, EE4 e EE5 não foi observado diferença estatisticamente significativa entre a água armazenada no Reservatório e água que chega até o Ponto de Consumo ($p > 0,05$). Por outro lado, para o EE2 e EE3 verificou-se que existe uma diferença estatisticamente significativa do cloro residual livre entre a água armazenada no Reservatório e água que chega até a torneira da cozinha ($p < 0,05$).

Figura 24 – Variabilidade dos dados de cloro residual livre no reservatório inferior e no ponto de consumo do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)



Fonte: Autor (2023).

Segundo o Art. 16, inciso VI, do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, compete ao responsável pela distribuição e transporte de água potável por meio de carro-pipa, manter o teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L. Já o Art. 32 do mesmo anexo aponta que é obrigatória a manutenção em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede), assim como, nos pontos de consumo, um teor mínimo de 0,2

mg/L e máximo de 5,0 mg/L de cloro residual livre (Brasil, 2017). Esses valores mínimos definidos são exatamente para garantir a qualidade da água dentro dos reservatórios, mesmos que neles existam algumas sujidades (Sampaio; Silveira, 2021).

Para o EE1, Figura 24A, observa-se que as concentrações de cloro residual livre na água armazenada no Reservatório, em termos médios, sempre foram maiores quando comparados com os valores obtidos no Ponto de Consumo. Infere-se, portanto, que no processo de reservação e transporte, há uma degradação do residual de cloro na água. Porém, 96,3% das amostras coletadas no Reservatório e no Ponto de Consumo estavam abaixo do limite mínimo permitido pela legislação de 0,2 mg/L. Apenas uma amostra do Reservatório obteve valor acima de 0,2 mg/L, correspondendo a 0,26 mg/L.

Em relação ao EE2, Figura 24B, foi constatada a presença de cloro livre, pois a gestora da instituição afirmou adicionar costumeiramente algumas gotas de hipoclorito de sódio no Reservatório, mesmo sem dispor de orientação técnica quanto a quantidade de produto químico necessário. A gestora também não soube informar com precisão a periodicidade na qual adicionava o hipoclorito à água. Somado a este fato, funcionários afirmaram que quando o nível do Reservatório está muito baixo e o bombeamento de água do poço não está sendo suficiente para atender a demanda, a gestora da solicita à prefeitura municipal, um carro-pipa para complementar o Reservatório. Assim, por exemplo, no mês de agosto, dias antes da coleta, o Reservatório da unidade de ensino tinha recebido água de carro-pipa, misturando-a à água de poço.

Contudo, para o Reservatório da instituição foram verificadas 25% das amostras dentro do padrão permitido pela legislação vigente, sendo o maior valor encontrado de 0,27 mg/L no mês de março. Já para o Ponto de Consumo foram verificadas apenas 12,5% das amostras dentro do padrão permitido pela legislação, sendo o maior valor encontrado de 0,25 mg/L também no mês de março, o que corrobora na coerência dos dados. Em termos médios, verifica-se que 50% dos dados de cloro livre no Reservatório estão entre 0,10 mg/L e 0,20 mg/L e no Ponto de Consumo estão entre 0,10 mg/L e 0,15 mg/L, comprovando o processo de degradação do cloro dentro da instituição.

Apesar da administração de cloro à água do Reservatório acontecer na instituição sem auxílio técnico, é importante ressaltar a necessidade de aplicar um mecanismo físico ou químico de desinfecção em águas de poços destinadas ao consumo humano. Técnicas convencionais como a utilização de pastilhas de cloro diretamente no local de captação ou a desinfecção dessas águas por meio de um dosador de cloro utilizando hipoclorito de sódio, são exemplos de

alternativas, pois a ausência de um mecanismo de desinfecção permite a proliferação de microrganismos patogênicos, como apontam Martiori e Silva (2015).

Souza, Frade e Soares (2018) monitorando água de poços tubulares profundos no município de Iguatama, estado de Minas Gerais, observaram que houve presença de cloro residual livre em valores que variaram de 0,44 a 0,60 mg/L. Todos os poços de captação de água possuíam uma casa de bomba juntamente com um reservatório, onde a água era armazenada e clorada com hipoclorito de cálcio antes de ser distribuída à população. Sendo assim, todas as amostras estudadas pelos autores se encontram em conformidade, diferente do presente caso.

No EE3 foram observados os maiores valores de residual de cloro livre entre os estabelecimentos monitorados (Figura 24C). Para o Reservatório da instituição foram verificadas mais de 70% das amostras dentro do padrão permitido pela legislação vigente, sendo o maior valor encontrado de 0,95 mg/L no mês de setembro. Apesar disso, 50% dos valores medidos encontra-se entre 0,2 e 0,4 mg/L.

Em relação ao Ponto de Consumo foram verificadas apenas 33,3% das amostras dentro do padrão permitido pela legislação, sendo o maior valor encontrado de 0,31 mg/L no mês de março. Em termos médios, verifica-se que os dados de cloro livre no Ponto de Consumo estão entre 0,15 mg/L e aproximadamente 0,30 mg/L, demonstrando um processo de degradação do cloro dentro da instituição bastante acentuado. Em outras palavras, entre o Reservatório e o Ponto de Consumo houve uma redução de conformidade com a Portaria na ordem de 52%.

No EE4 (Figura 24D) e EE5 (Figura 24E) o teor mínimo de cloro residual livre deve ser de 0,5 mg/L segundo a Portaria, pois se trata de instituições abastecidas por carro-pipa. No EE4, todas as amostras coletadas no Reservatório e no Ponto de Consumo estavam abaixo do padrão estabelecido. Por fim, no EE5 (Figura 24E), 90,47% das amostras do Reservatório e 95% das amostras do Ponto de Consumo estavam em desconformidade com a Portaria. As duas amostras do Reservatório com valores acima de 0,5 mg/L, na análise estatística foram entendidas como *outliers*, pois não representa de maneira fidedigna a situação do ponto de coleta. Este resultado era esperado, principalmente para o Reservatório, devido às condições precárias de vedação que proporcionam a volatilização mais rápida do cloro.

Sem pormenorizar, todos os estabelecimentos de ensino apresentaram valores inferiores a 1,0 mg/L de cloro residual livre nos dois pontos de coleta. Para mais, vê-se que em todas as instituições há uma degradação do cloro livre entre o Reservatório e o Ponto de Consumo. Dessa forma, os valores baixos e fora do estabelecido em legislação é acentuado no ponto exato de

consumo da água.

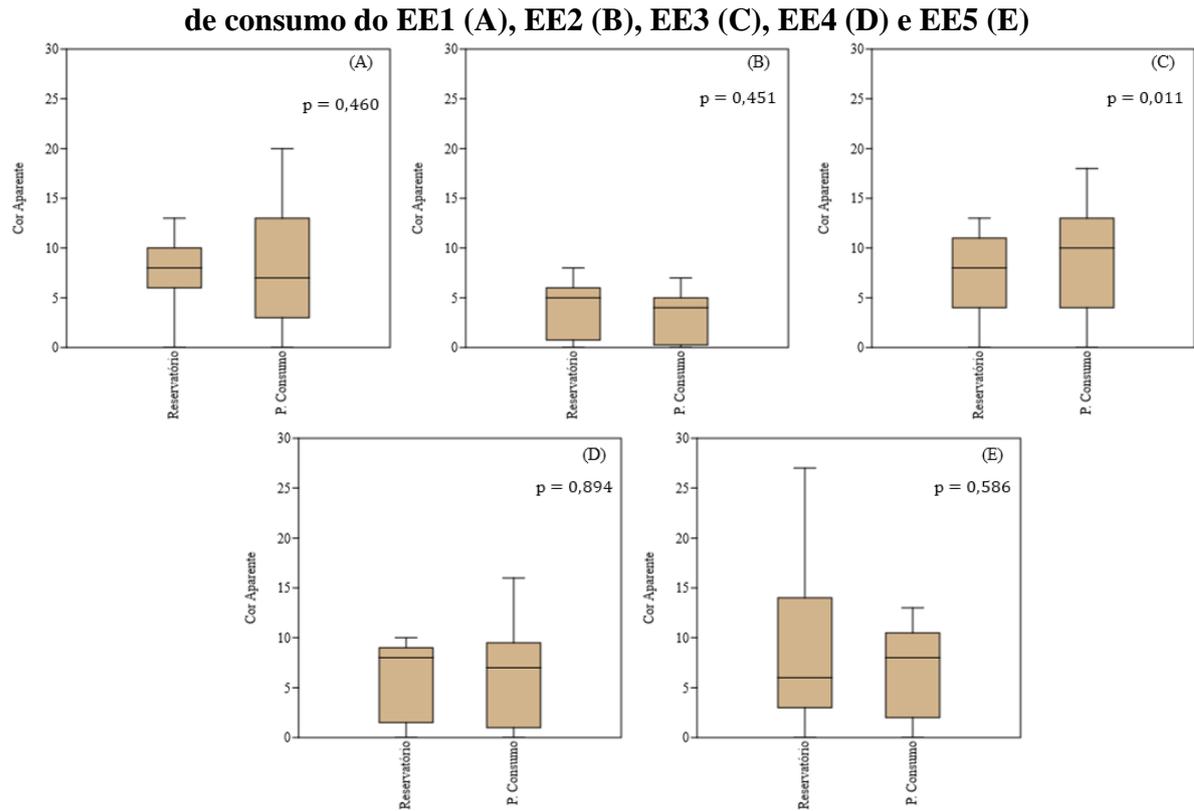
Diversos fatores podem ser elencados como motivos para o decaimento desse parâmetro entre os pontos amostrados. Pierezan (2009) aponta que os maiores responsáveis que influenciam a demanda de cloro são a presença de compostos orgânicos e inorgânicos no corpo do escoamento, as reações do cloro com o biofilme nas paredes das tubulações e o consumo no processo de corrosão.

Temperatura, pH e velocidade de escoamento do fluido também são parâmetros que colaboram para o decaimento do residual de cloro, além dos elementos do sistema de distribuição, como o diâmetro e material da tubulação e idade do sistema (Figueiredo, 2014; Silva, 2020). O tempo de detenção hidráulica nos reservatórios e a presença de luz, exercem influência. No EE1 e EE5, foram verificadas as piores condições de vedação dos reservatórios contribuindo para a degradação do cloro por meio da luz e através da volatilização dele, pois em sua forma mais elementar, o cloro é um gás, então facilmente desprende-se da massa líquida. Além da correção dessas irregularidades citadas e análise de correlação entre os fatores supracitados e o decaimento do cloro para o presente estudo de caso, uma forma de garantir o residual desinfetante seria adicionar à água um maior percentual de cloro, mas dentro do estabelecido pela Portaria.

5.1.3 Cor aparente

O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, estabelece o limite de 15 uH (unidade Hazen) para o parâmetro de cor aparente (Brasil, 2017). Observa-se na Figura 25 que no monitoramento da qualidade da água em termos de cor aparente, houve uma ampla variação dos valores quando comparados os estabelecimentos de ensino entre si. Essa situação deve-se inicialmente ao fato de os estabelecimentos serem abastecidos por fontes de água diferentes. O EE1 e o EE3 são abastecidos pela rede de distribuição de água da Companhia de Saneamento. O EE2, majoritariamente é abastecida por água advinda de um poço. Já os estabelecimentos EE4 e EE5 são abastecidas por carro-pipa.

Figura 25 – Variabilidade dos dados de cor aparente no reservatório inferior e no ponto



Fonte: Autor (2023).

Contudo, em todas as unidades de ensino, observa-se uma maior variação da cor aparente na água do Ponto de Consumo. Este fato pode ser justificado devido o estado de manutenção das tubulações prediais do estabelecimento, cisternas e reservatórios que podem promover o acúmulo e carreamento de partículas sólidas. Em todos os estabelecimentos de ensino, os funcionários não souberam informar a última vez que os reservatórios inferiores e superiores tinham sido limpos. Dessa forma, verifica-se a inexistência de uma política de periodicidade de limpeza desses compartimentos, o que contribui na degradação da qualidade da água não apenas em termos de valores de cor aparente. No EE5, por exemplo, a tampa do Reservatório estava danificada e a água ficava exposta constantemente, permitindo assim, a entrada de partículas sólidas, além da interferência em outros parâmetros de qualidade (Figura 26). Situação semelhante foi verificada nos EE1 e EE4, cujos Reservatórios eram mal vedados.

Figura 26 – Reservatórios com tampas danificadas no EE5



Fonte: Autor (2023).

Já no EE2 e EE3, os reservatórios de água apresentavam boa vedação, fato este, que colaborou para a observação de valores de cor aparente menores nesse estabelecimento de ensino quando comparadas com os outros.

No EE1 (Figura 25A), observa-se que do total de 28 amostras coletadas no Ponto de Consumo, 21,43% foram insatisfatórias, ou seja, valores acima de 15 uH. Nos meses de julho e agosto, foram verificados valores entre 18 uH e 20 uH, respectivamente. Esses meses são caracterizados pelo regime de chuva mais acentuado na região. Todavia, no Reservatório da instituição o maior valor de cor aparente verificado foi de 13 uH, também no mês de julho. Portanto, o aumento do valor desse parâmetro nestes meses em específico, pode estar relacionado com uma falha no tratamento da água na estação, resultante de uma dosagem insuficiente de produto químico na coagulação ou de outras questões de otimização do processo que melhor se adequassem a realidade de uma água com maior aporte de partículas sólidas, carregadas para o manancial devido às chuvas. Contudo, apesar da água do Reservatório apresentar um valor alto de cor aparente em comparação com os outros meses, não estava fora do recomendado pela portaria, O maior carregamento de partículas ao longo da rede de distribuição, também pode ser o motivo desse valor mais alto. Já em meses de verão, como o mês de março, foi possível encontrar valores de cor aparente, próximos a zero.

No EE2 (Figura 25B), por se tratar de uma água proveniente de poço, observou-se que a totalidade das amostras forneceram resultados satisfatórios que variaram de 0 uH (nos meses

de verão) a 8 uH (nos meses de inverno). De maneira geral, o EE2 obteve o maior índice satisfatório, com 100% das amostras em conformidade. Destaca-se, que os termos “satisfatório/insatisfatório” significa o que está ou não dentro do padrão aceitável recomendado pela legislação utilizada como parâmetro comparativo neste estudo.

No EE3 (Figura 25C), observa-se que do total de 28 amostras coletadas no Ponto de Consumo, dessas, apenas 10,71% foram insatisfatórias, ou seja, valores acima de 15 uH, sendo todas elas referentes ao mês de junho. Salienta-se que essas inconformidades foram registradas apenas no Ponto de Consumo e no mesmo mês de junho, a água do Reservatório apresentou uma média de 11 uH. Portanto, esse valor insatisfatório não tem alta relação com os registros de chuva mais intensos dessa época, e sim, com as condições das tubulações prediais ou rede de distribuição, naquele mês.

Situação análoga pôde ser notada no EE4 (Figura 25D), onde observa-se que do total de 21 amostras coletadas no Ponto de Consumo, 9,52 % (duas amostras). Essas amostras em desconformidade foram coletadas no mês de abril. Vale ressaltar, que neste mês a unidade de ensino estava sem água nas torneiras devido o não funcionamento da bomba centrífuga do Reservatório e as atividades da cozinha estavam sendo realizadas com uma água cedida por uma residência vizinha ao estabelecimento de ensino. Dentro desse contexto, salienta-se também que nos meses de junho e novembro o nível de água do Reservatório estava muito baixo e por isso não estava sendo bombeada água para as torneiras da instituição. Nesses meses, coletou-se amostras apenas do Reservatório. Sendo assim, as inconformidades registradas no estabelecimento no mês de abril, não correspondem a água distribuída por carro-pipa à instituição.

Por fim, no EE5 (Figura 25E), como a torneira da cozinha não está interligada ao Reservatório do qual também se fez coleta, não é possível analisar a situação do EE5 em termos de aumento ou não de partículas sólidas no percurso entre Reservatório e torneira. De modo geral, o Reservatório da qual a água foi coletada apresentou uma maior variabilidade de valores em relação a cor aparente observada no Ponto de Consumo. No referido Reservatório, o aporte de partículas sólidas é mais acentuado, pois a água fica exposta ao ambiente, já que a tampa de vedação está danificada, como já mencionado anteriormente. Por esse motivo foram registrados valores de até 27 uH entre as amostras coletadas. Ressalta-se que, por diversas vezes, o Reservatório estava vazio no dia da coleta. No mês de outubro, por exemplo, no dia da coleta, a mesma não pôde ser realizada pois o estabelecimento estava sem água há quatro dias. Neste estabelecimento, portanto, verificou-se um abastecimento desregular. Já na torneira da cozinha,

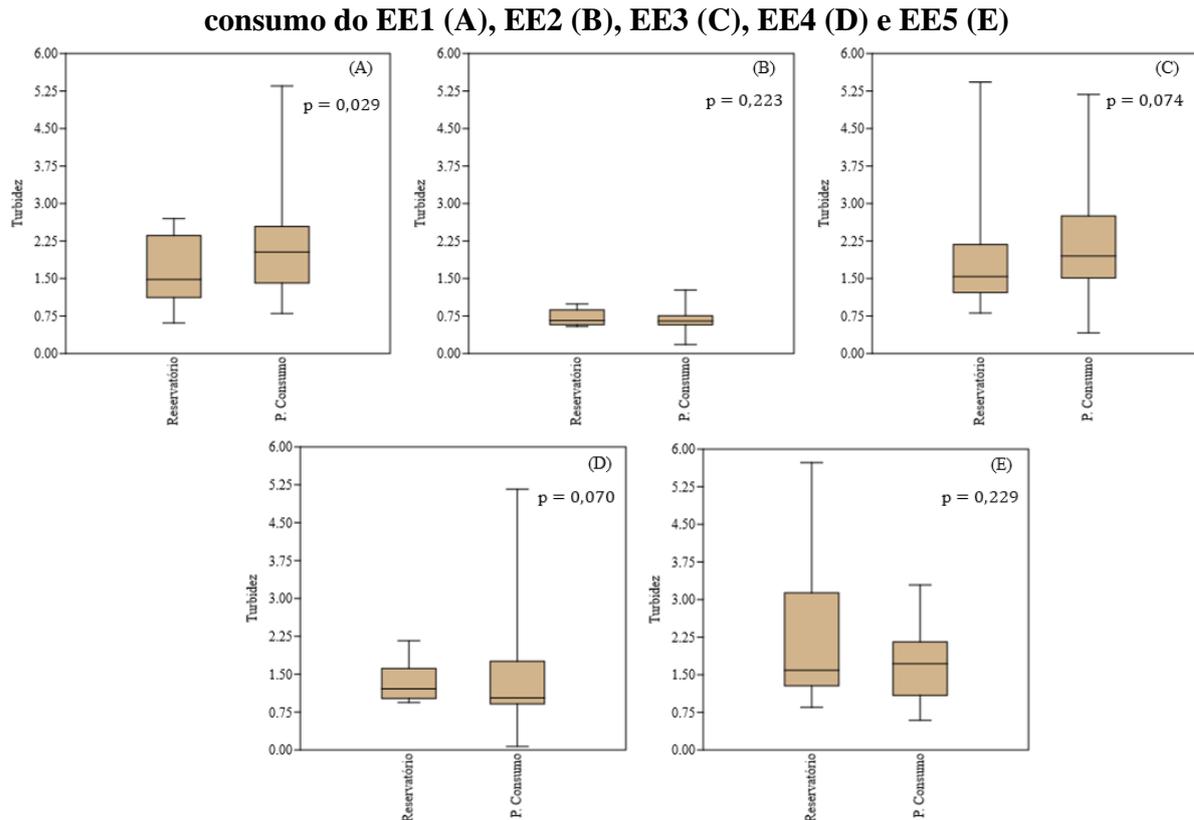
cuja água está interligada a um reservatório superior, 100% das amostras apresentaram conformidade com a portaria, em todos os meses monitorados.

Segundo Libânio (2010) a problemática maior do parâmetro cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população ao não verificarem uma água translúcida. Contudo, valores mais elevados de cor colaboram para dificultar a manutenção do residual de cloro nas redes de distribuição devido a complexação do cloro que tende a reagir com substâncias orgânicas, com potencial de favorecimento a formação de subprodutos nocivos ao ser humano. Além disso, a matéria orgânica que confere cor a água, pode conferir odor, sabor e proporcionar condições para o recrudescimento de microrganismos na rede de distribuição (Brasil, 2006; Libânio, 2010).

5.1.4 Turbidez

Na análise da turbidez da água dos estabelecimentos de ensino, observou-se que os valores médios apresentaram conformidade de acordo com o estabelecido pela Portaria de potabilidade: Valor Máximo Permissível (VMP) de 5,0 uT (Brasil, 2017), tanto nos reservatórios quanto nos pontos de consumo. Ao comparar os valores observados no Reservatório e no Ponto de Consumo, não foi observado diferença estatisticamente significativa entre eles, exceto para o EE1 (Figura 27).

Figura 27 – Variabilidade dos dados de turbidez no reservatório inferior e no ponto de



Fonte: Autor (2023).

Segundo Libânio (2010), a turbidez consolidou-se como um dos principais parâmetros para verificar a eficiência do tratamento da água, pois as partículas suspensas podem ser capazes de adsorver substâncias tóxicas e conferir proteção aos microrganismos, o chamado “efeito-escudo”. Dessa forma, águas com baixa turbidez ao passarem pelo processo de desinfecção, independente do desinfetante utilizado, entende-se que estarão sanitariamente mais seguras para o consumo.

Souza, Frade e Soares (2018), na análise de turbidez da água de poços de captação (poço tubular profundo), utilizados para o abastecimento da população do município de Iguatama – MG, observou valores médios de 0,87 a 0,89 uT, resultados semelhantes aos que foram encontrados nas análises realizadas com a água do EE2, que é oriunda de poço, na qual variou em termos médios entre 0,50 uT e 0,80 uT (Figura 26B). Libânio (2010) também afirma que águas subterrâneas tende a apresentar turbidez abaixo de 1,0 uT. Souza *et al.* (2018) e Scherer (2019) também analisaram a turbidez de águas distribuídas em centros municipais de educação infantil e escolas públicas de ensino fundamental e verificaram conformidade com a Portaria em vigor.

Destaca-se também, que a cor aparente está relacionada a turbidez, por se tratar da

presença de sólidos em suspensão na água. Neste contexto, por exemplo, percebe-se que no EE5 a amostra coletada no Reservatório apresentou cor aparente e turbidez acima do máximo permitido, com 15,67 uH e 5,19 uT, respectivamente. De forma geral, em termos médios, os maiores valores de turbidez foram observados no EE1 (Figura 27A) e EE5 (Figura 27E), cujos reservatórios estão em piores condições de conservação.

5.1.5 Coliformes totais

De acordo com o Anexo XX da Portaria GM/MS nº 5/2017 os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) devem apresentar ausência de Coliformes totais em 100 mL de amostra de água coletada na saída do tratamento. Já para as Soluções Alternativas Individuais (SAI) não há recomendação para esse indicador de integridade. Dessa forma, na análise microbiológica qualitativa (Figura 28), em todos os estabelecimentos de ensino, exceto no EE3 (Figura 28C), o ponto de monitoramento “Reservatório” apresentou presença de bactérias do grupo Coliformes.

Já em relação ao Ponto de Consumo, observa-se a presença de Coliformes totais em todos os estabelecimentos de ensino. Destaca-se o EE4 (Figura 28D), na qual todas as amostras do Reservatório e do Ponto do Consumo apresentaram a presença desse indicador, o que revela uma maior vulnerabilidade desse estabelecimento. De maneira geral, entre o Reservatório e o Ponto de Consumo a presença de Coliformes totais é maior neste último ponto, exceto no EE2. Tal fato deve-se ao processo natural de degradação da água dentro das tubulações prediais da edificação. A origem desses contaminantes microbiológicos podem estar relacionados ao biofilme aderido à superfície interna da rede. Muitos organismos patogênicos sobrevivem no biofilme onde ficam protegidos da ação dos agentes desinfetantes. Com o tempo esses organismos podem se desprender, resultando na detecção de Coliformes totais, *E. coli* e outros (Pierezan, 2009).

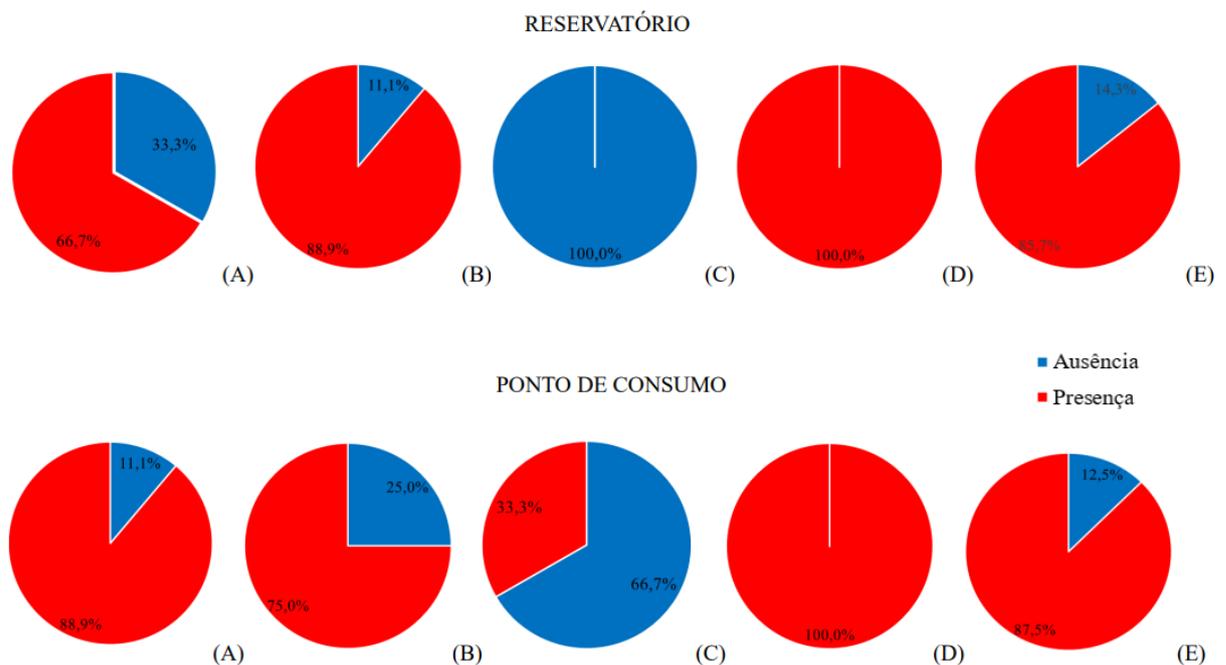
O estado deficiente de conservação da rede predial ou o aumento da temperatura que diminui a constante de dissociação do cloro e aumenta a quantidade relativa do íon hipoclorito (Meyer, 1994), diminui a quantidade efetiva de desinfetante e pode também ser a causa para a presença desses microrganismos. Gomes (2014), pontua que a degradação do cloro ocorre principalmente nos reservatórios de acumulação e chegam nos pontos de consumo com valores ainda menores.

Barreto, Pedreira e Will (2015), mencionam que a água também já pode chegar nas redes

de distribuição contaminada devido um tratamento inadequado na estação de tratamento, como uma quantidade de cloro e tempo de contato incompatíveis com o volume de água a ser tratado. Além do mais, a contaminação pode acontecer na própria rede de distribuição por conta da intermitência no fornecimento de água (Meyer, 1994).

Souza, Frade e Soares (2018) aponta que a má qualidade da água está associada a diversas doenças de veiculação hídrica, tornando extremamente importante a avaliação da presença tanto de Coliformes totais como de *Escherichia coli* em águas destinadas ao consumo humano, já que apenas a presença de Coliformes totais não é indicação útil de contaminação fecal, pois bactérias não entéricas também fazem parte desse grupo. No entanto, a presença desse indicador na água serve como alerta para o desencadeamento de medidas corretivas (Barreto; Pedreira; Will, 2015).

Figura 28 – Resultados de Coliformes totais do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)



Fonte: Autor (2023).

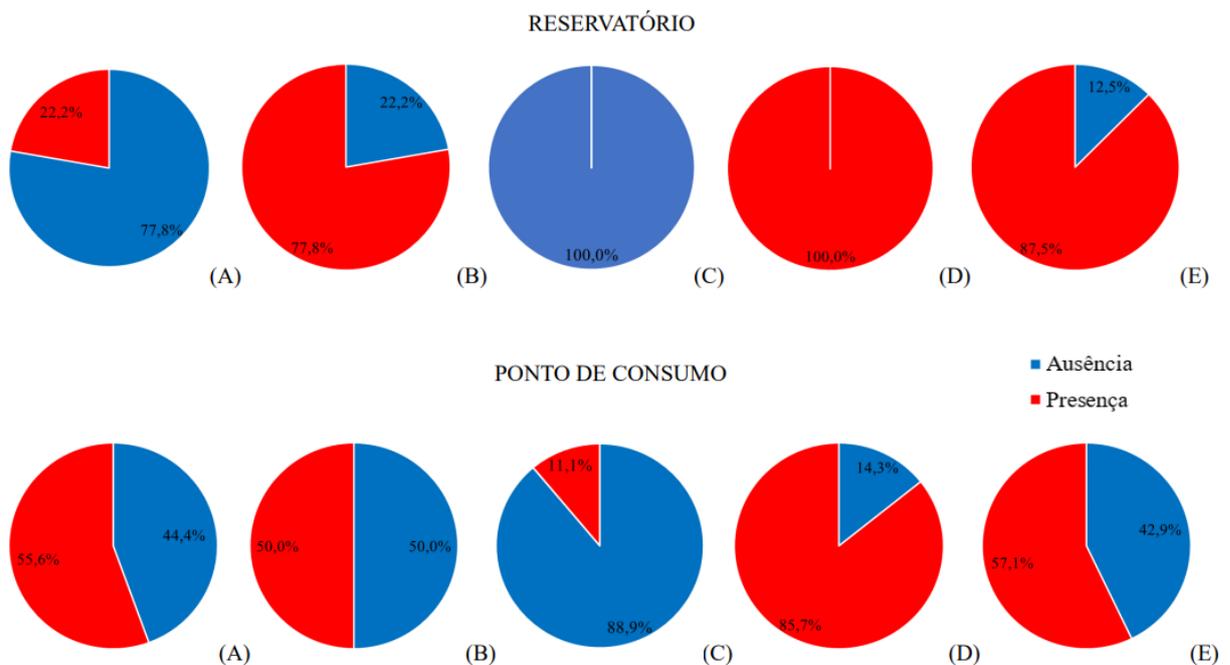
5.1.6 *Escherichia coli*

De acordo com o Anexo XX da Portaria GM/MS nº 5/2017 (Brasil, 2017), no sistema de distribuição e pontos de consumo para o parâmetro *E. coli*, é necessário apresentar ausência em 100 mL de amostra de água coletada. Neste sentido, este parâmetro não atingiu o padrão de

potabilidade para o Reservatório em quatro dos cinco estabelecimentos de ensino (Figura 29), apenas o EE3 (Figura 29C) apresentou ausência em 100% das amostras avaliadas. Nesta unidade, verificou-se as maiores concentrações de cloro residual livre entre todos os estabelecimentos monitorados, fato este, que pode ter contribuído para a não identificação de *E. coli*.

Entretanto, verificou-se um decaimento para 11,1% das amostras dentro do padrão de potabilidade no Ponto de Consumo deste estabelecimento. Este resultado é esperado e pode ser ocasionado devido à má higienização da torneira a qual se preparam os alimentos ou problemas na rede predial de distribuição de água. Comportamento semelhante pode ser observado no EE1 (Figura 29A).

Figura 29 – Resultados de *E. coli* do EE1 (A), EE2 (B), EE3 (C), EE4 (D) e EE5 (E)



Fonte: Autor (2023).

Em contiguidade, é importante destacar a presença de *E. coli* na água do EE2 (Figura 29B), pois trata-se de uma água proveniente de poço. No entanto, como já mencionado, a gestora da instituição afirmou que por conta própria costuma adicionar algumas gotas de hipoclorito de sódio no Reservatório, sem proceder com nenhuma análise previa para determinação da dosagem do produto. Então infere-se, que o poço ou o reservatório estão sofrendo algum processo de contaminação, como por exemplo, a infiltração de águas

residuárias. Além disso, a quantidade de desinfetante adicionado pela gestora também não está sendo suficiente para atender os padrões de potabilidade.

Outro ponto que cabe destaque refere-se o EE4 (Figura 29D), pois o percentual de 14,3% de ausência de *E. coli* para o Ponto de Consumo está relacionado a coleta do mês de Abril, na qual, a água que estava sendo utilizada na cozinha havia sido cedida por uma residência vizinha ao estabelecimento de ensino, já que o bombeamento do Reservatório para a torneira estava interrompido devido problemas no sistema de bombeamento. Sendo assim, os referidos dados de ausência de *E. coli* não refletem a verdadeira condição da água consumida nesta instituição, sendo os dados coletados nos outros meses mais fidedignos à realidade.

Em relação ao EE5 (Figura 29E), como já mencionado, a torneira da cozinha (Ponto de Consumo) não recebe água do Reservatório cuja água foi monitorada. Portanto, os dois pontos não têm relação. No EE5, diferente das outras instituições, utiliza-se água da torneira para a preparação dos alimentos crus e suco. Neste ponto, têm-se uma maior preocupação em relação à alimentação consumido pelos alunos e funcionários da instituição, pois diferentemente das outras instituições, não é utilizada água mineral para a preparação desses alimentos. Verificase que 57,1% das amostras apresentaram contaminação por *E. coli*. Para mais, funcionários da instituição já presenciaram larvas de algum organismo biológico na água da torneira, evidenciando, portanto, má higienização e baixa periodicidade de manutenção dos reservatórios de água ou péssimas condições da rede predial de água.

A origem da contaminação por *E. coli* nas redes prediais dos estabelecimentos de ensino relacionam-se com os mesmos mecanismos de contaminação por Coliformes totais e mencionados anteriormente. Para os estabelecimentos de ensino abastecidos por carro-pipa (EE4 e EE5), os efeitos combinados da temperatura da água no interior do container de armazenamento do carro-pipa, a idade da água, o material que compõem os containers dos carros-pipa e a reutilização dos mesmos sem uma prévia higienização, podem ser a causa e origem do número de bactérias do grupo Coliforme. A reutilização dos containers sem higienização regular, proporciona a formação de biofilme em seu interior que não é de fácil remoção. Para mais, o aumento da formação de biofilmes é influenciado pela temperatura, que quando elevada pode proporcionar a evaporação do cloro presente na água (Mendonça *et al.*, 2017).

De maneira geral, em relação aos parâmetros microbiológicos aqui analisados (Coliformes totais e *E. coli*) o EE3 se apresentou como a unidade menos susceptível a contaminação, enquanto o EE4, configurou-se como o mais sensível a contaminação

microbiológica.

5.1.7 Demais parâmetros físico-químicos

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados as médias e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos, do monitoramento da água do Reservatório e para o Ponto de Consumo, dos cinco estabelecimentos de ensino. De forma geral, pode-se observar que os valores obtidos para as amostras no Reservatório apresentaram comportamento semelhante as do Ponto de Consumo.

Tabela 3 – Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos para o Reservatório

Parâmetro	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5
Alcalinidade total	3 ± 2,58	61,83 ± 5,52	1 ± 0	34,92 ± 11,1	14,35 ± 9,31
Amônio	0,08 ± 0,07	0,04 ± 0,03	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,04	0,04 ± 0,04
Amônia	0,08 ± 0,06	0,04 ± 0,03	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,03	0,03 ± 0,04
Nitrito	0,02 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Nitrato	0,89 ± 0,64	10,51 ± 0,6	0,04 ± 0,04	8,81 ± 0,63	2,32 ± 2,56
SDT	90,9 ± 5,02	230,22 ± 3,73	87,6 ± 9,73	175,11 ± 10,99	164,89 ± 8,46
Condutividade elétrica	181,78 ± 11,44	463,44 ± 4,77	172,54 ± 21,54	350,89 ± 22,16	345,44 ± 23,96
Dureza total	30,25 ± 2,85	102,31 ± 10,8	32,7 ± 2,45	73,84 ± 13,74	62,27 ± 7,51
Ferro	0,06 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,07 ± 0,04	0,1 ± 0,06	0,06 ± 0,03
Manganês	0,07 ± 0,04	0,05 ± 0,12	0,04 ± 0,04	0 ± 0	0,04 ± 0,04
Cloretos	35,55 ± 4,18	86,09 ± 9,61	32,66 ± 5,89	73,43 ± 4,39	76,65 ± 3,53
Sulfatos	31,17 ± 4,16	13,36 ± 0,46	30,68 ± 4,14	7,75 ± 2,03	35,55 ± 17,19
Alumínio	0,29 ± 0,22	0 ± 0	0,78 ± 0,54	0,04 ± 0,05	0,03 ± 0,05
Sódio	18,19 ± 1,16	52,31 ± 3,7	16,85 ± 1,87	32,03 ± 2,28	40,92 ± 3,93
Potássio	4,71 ± 0,85	4,9 ± 0,18	3,88 ± 0,23	13,73 ± 0,72	9,43 ± 1,68

Fonte: Autor (2023).

Tabela 4 – Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos para o Ponto de Consumo

Parâmetro	EE1	EE2	EE3	EE4	EE5
Alcalinidade total	11,68 ± 6,28	68,84 ± 6,8	2,78 ± 0,97	22,85 ± 2,04	21,69 ± 5,22
Amônio	0,07 ± 0,08	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,05	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,04
Amônia	0,07 ± 0,07	0,05 ± 0,04	0,05 ± 0,05	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,04
Nitrito	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,02	0,02 ± 0,01
Nitrato	2,33 ± 3,24	10,57 ± 0,77	0,08 ± 0,1	8,81 ± 0,87	2,13 ± 1,7
SDT	113,23 ± 27,08	236,89 ± 7,67	88,66 ± 9,87	160,67 ± 7,31	169,67 ± 13,43
Condutividade elétrica	225,99 ± 54,56	475 ± 15,64	177,37 ± 19,64	322,5 ± 15,18	360,89 ± 14,93

Dureza total	44,71 ± 16,68	107,65 ± 12,57	34,47 ± 6,55	69,39 ± 6,03	65,84 ± 5,34
Ferro	0,07 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,09 ± 0,04	0,06 ± 0,04	0,1 ± 0,05
Manganês	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,07	0,05 ± 0,03	0 ± 0	0,03 ± 0,03
Cloretos	50,43 ± 14,65	77,76 ± 39,51	35,55 ± 5,98	72,48 ± 2,74	78,32 ± 6,12
Sulfatos	27,05 ± 10,28	13,06 ± 1,51	30,82 ± 3,96	7,99 ± 1,7	47,06 ± 15,76
Alumínio	0,19 ± 0,18	0,01 ± 0,02	0,3 ± 0,16	0,02 ± 0,03	0,06 ± 0,05
Sódio	21,54 ± 4,1	51,97 ± 3,25	16,65 ± 2,21	39,52 ± 16,05	42,86 ± 1,91
Potássio	5,96 ± 2,81	5,17 ± 0,39	3,89 ± 0,23	13,25 ± 0,31	7,82 ± 0,87

Fonte: Autor (2023).

A alcalinidade relaciona-se com o pH. Observou-se que a alcalinidade da água monitorada é da natureza de bicarbonatos, fato este comprovado pela leitura de pH que variou entre 4,4 e 8,3 (Figura 23). Neste caso a alcalinidade de bicarbonato coincide com a alcalinidade total. Libânio (2010) afirma que na maioria das águas naturais superficiais, a alcalinidade decorre apenas de bicarbonato, em especial de cálcio e magnésio, e geralmente é inferior a 100 mg/L de CaCO₃. Dessa forma, a alcalinidade das águas associa-se à dureza, que é um parâmetro relacionado com cátions em solução na água, principalmente o cálcio (Ca⁺²) e o magnésio (Mg⁺²).

Para todos os estabelecimentos de ensino, a alcalinidade de bicarbonatos é menor que a dureza total, portanto, a dureza dessas águas é temporária. A dureza temporária é aquela em que o cálcio ou o magnésio encontram-se associados a bicarbonatos ou carbonatos. É dita como temporária por ser passível de remoção com o aumento da temperatura (Piveli, 2015). Existe ainda uma parcela de dureza permanente na amostra associada a sulfatos, cloretos ou nitratos que pode ser determinada pela diferença entre a dureza total e a alcalinidade da água (Libânio, 2010).

Valores máximos ou mínimos de alcalinidade não são contemplados na Portaria em vigor, isso porque, esse parâmetro não apresenta significado sanitário, sendo a sua influência relacionada a questões operacionais do tratamento da água, como na operação unitária de coagulação.

Já em relação a dureza, o padrão de potabilidade brasileiro estabelece o limite de 300 mg/L de CaCO₃, apesar de também não apresentar significado sanitário. Todavia, o seu inconveniente é de natureza econômica por reduzir a formação de espuma, aumentando o consumo de sabões, além da possibilidade de gerar incrustações nas tubulações de água quente. Para mais, observa-se uma rejeição dos consumidores para águas com dureza acima de 100

mg/L de CaCO_3 (Libânio, 2010). A dureza da água dos estabelecimentos de ensino analisados variou entre mole ou branda à dureza moderada, observando-se valores menores que 150 mg/L.

Já em relação a fração nitrogênio, ele pode ser encontrado nos corpos de água de algumas maneiras, incluindo o nitrogênio amoniacal, o nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-). Segundo Libânio (2010), as formas de nitrogênio traduzem o estágio de poluição. Presença de nitrato e nitrito e as formas oxidadas indicam poluição remota, enquanto o nitrogênio amoniacal indica uma poluição recente. A Portaria de potabilidade limita a concentração máxima de amônia em 1,2 mg/L, principalmente porque a amônia interfere no processo de desinfecção da água pelo cloro, através da formação de cloraminas, que possuem um menor poder desinfetante (Fonseca, 2017). Obteve-se valores bem abaixo do limite em todas as instituições.

A forma de nitrito é encontrada em pequenas quantidades nas águas superficiais e subterrâneas, por se tratar de um composto instável na presença de oxigênio, resultando em uma oxidação instantânea a nitrato. O nitrito quando presente na água de consumo humano também interfere no processo de cloração que utiliza compostos que deixam cloro residual livre, pois convertem nitrito a nitrato. Além disso, na ingestão de água contendo nitrito, pode ocorrer uma reação no estômago com aminas formando compostos conhecidos por ser cancerígenos em animais (Libânio, 2010; Fonseca, 2017). Para mais, pode ocasionar metemoglobinemia independente da faixa etária da pessoa (Alaburda; Nishihara, 1998). Por isso, a Portaria em vigor estabelece um limite máximo de 1,0 mg/L de nitrito na água. Assim como a amônia, nenhum estabelecimento apresentou uma água com valores superiores aos definidos.

Em relação a forma de nitrato, o Anexo XX da Portaria GM/MS nº 5/2017 (Brasil, 2017) estabelece um valor máximo de 10 mg/L. De todas as instituições, apenas o EE2 apresentou uma água acima do limite. Foi verificado uma média de 10,509 mg/L no Reservatório e 10,573 mg/L no Ponto de Consumo. Reforça-se que a água utilizada no EE2 é oriunda de poço artesiano. Segundo Franca *et al.* (2006) e Biguelini e Gumy (2012), o nitrato nas águas subterrâneas pode ter origem na infiltração no solo de fertilizantes utilizados na agricultura, esgotos domésticos e industriais e lixiviação de lixões, efeitos que são acentuados em áreas com pouca vegetação. Uma fonte comum de contaminação de aquíferos por nitrato é a presença de fossas sépticas e valas de infiltração, como sistema de saneamento (Biguelini; Gumy, 2012).

O limite de nitrato estabelecido em legislação para água potável justifica-se devido ao fato de concentrações elevadas poderem causar metahemoglobinemia (cianose) em crianças, conhecida como doença do bebê azul (Franca *et al.*, 2006; Libânio, 2010). Vicente, Lima e Marques (2018) pontuam que uma das maneiras de verificar a existência de contaminação

antrópica em águas subterrâneas é procedendo uma análise de correlação, avaliando a variabilidade e a dependência espacial e temporal do nitrato e do cloreto. Uma elevada correlação entre os dois parâmetros reforça a hipótese de contaminação por atividade antrópica externa, uma vez que ambos os elementos podem comumente possuir a mesma origem.

Em continuidade, o Anexo XX da Portaria GM/MS nº 5/2017 (Brasil, 2017) estabelece um valor máximo de 500 mg/L para o parâmetro SDT. A fração dissolvida de sólidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico, confere cor verdadeira às águas. No entanto, o monitoramento de sólidos em toda sua gama de classificação, como os sólidos suspensos, que conferem cor aparente e turbidez à água, não é comumente realizada devido a morosidade laboratorial, sendo substituída pelas análises de cor verdadeira e aparente e turbidez. Todos os estabelecimentos de ensino atenderam o padrão de potabilidade para esse parâmetro.

Um parâmetro intrinsecamente relacionado ao SDT é a condutividade elétrica - CE, que é uma medida da quantidade de sais existentes na água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores de condutividade podem indicar características corrosivas da água. Não existe padrão na Portaria para a CE, no entanto, valores superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2022). A água de todas as unidades educacionais, apresentou uma média de CE superior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o que aponta para uma concentração mineral elevada.

Já o ferro e o manganês são metais que se originam na dissolução de rochas e solos. A Portaria GM/MS nº 5/2017 (Brasil, 2017), estabelece concentração máxima de ferro de 0,3 mg/L e de manganês de 0,1 mg/L. Os dois metais, nas concentrações costumeiramente encontradas nas águas utilizadas para consumo humano, não apresentam significado sanitário, no entanto, esses metais podem trazer problemas no tratamento da água, no sistema público de distribuição de água e na aceitação da água pela população abastecida.

O ferro confere cor, odor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz os problemas do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferrobactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. O desenvolvimento destes microrganismos é consequência de uma desinfecção inadequada ou remoção insuficiente de ferro e manganês, condicionando as paredes das tubulações a severas incrustações causadas pela biomassa e formas insolúveis desses metais (Libânio, 2010; CETESB, 2022).

Quando o biofilme formado por ferrobactérias está estabilizado a ação do cloro residual na rede de distribuição não surte efeito e, embora as ferrobactérias por si só não causem efeitos deletérios a saúde humana, elas podem mascarar a presença de outros patógenos e elevar as dosagens de desinfetante (Libânio, 2010). Obteve-se valores de ferro bem abaixo do limite da Portaria em todas as instituições.

O manganês, por sua vez, raramente atinge concentrações de 1,0 mg/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2 mg/L ou menos (CETESB, 2022), situação verificada em todos os estabelecimentos de ensino monitorados, cuja média ficou bem abaixo do limite estabelecido em legislação. Todavia, no mês de junho, no EE2, abastecida por água de poço, foi obtido 0,142 mg/L, fato este que pode estar relacionado a maior dissolução desse metal na água devido o período de chuvas.

A principal exposição humana ao manganês é por consumo de alimentos. Esse metal na água desenvolve coloração negra. Uma concentração menor que 0,05 mg/L geralmente é aceita pelos consumidores, devido ao fato de não ocorrerem, nesta faixa de concentração, a coloração negra na água (CETESB, 2022). Contudo, nas amostras deste estudo cujo valores ultrapassaram 0,05 mg/L, não foi verificada essa coloração.

Em relação aos parâmetros cloretos, sulfatos, sódio e potássio, as amostras de todas as instituições de ensino encontraram-se dentro do estabelecido. No momento presente, o padrão de aceitação do anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde para consumo humano referente aos cloretos e sulfatos é de 250 mg/L. Para o sódio o limite é de 200 mg/L e para o potássio não há valor máximo de referência (Brasil, 2017).

Os cloretos são utilizados como indicador da salinidade da água. Em águas naturais, a fonte de cloretos e sulfatos ocorre geralmente através do intemperismo de solos e rochas. Nas águas tratadas, os cloretos podem ser resultantes das reações de dissociação do cloro na água e os sulfatos provenientes do uso de coagulantes (CETESB, 2022). Apesar de não representar risco sanitário, o padrão exigido justifica-se devido essas correlações citadas. O aumento de cloretos e sulfatos podem ser um indicador de superdosagens de cloro e coagulantes com sulfatos na composição, como o sulfato de alumínio.

Além do mais, altos teores de sais minerais, particularmente o sulfato e o cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor salgado às águas e conseqüente rejeição da população. O controle do sulfato na água tratada também é importante pois a sua ingestão provoca efeito laxativo (CETESB, 2022).

Por fim, no que concerne ao alumínio, nas águas naturais esse metal pode ocorrer em

diferentes formas e é influenciado pelo pH, temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com o carreamento de partículas sólidas que por consequência, aumenta a turbidez (CETESB, 2022).

Na água potável, os níveis do metal variam de acordo com a fonte de água (grau de poluição) e com os coagulantes à base de alumínio que são usados no tratamento da água (CETESB, 2022). O atual estado da arte já aponta que o alumínio residual proveniente do uso de coagulantes a base desse metal pode causar a doença de Alzheimer. Por isso é crescente o número de estudos dedicados a encontrar coagulantes alternativos e eficientes para serem utilizados como coagulantes primários ou auxiliares de coagulação, visando diminuir a concentração desse residual na água destinada ao consumo humano (Wang *et al.*, 2011; Sousa, 2019; Silveira *et al.*, 2019). O Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde estabelece um valor máximo permitido de alumínio de 0,2 mg/L como padrão de aceitação para água de consumo humano (Brasil, 2017).

No EE1 foi identificado 33,33% de amostras acima do limite estabelecido, tanto no Reservatório quanto no Ponto de Consumo. Já no EE3, 66,66% das amostras do Ponto de Consumo estavam acima do permitido e 77,77% das amostras do Reservatório estavam com valores superiores a 0,2 mg/L. Dos cinco estabelecimentos de ensino, esses dois, são os que recebem água por rede de distribuição. Portanto, verifica-se uma situação sensível a contaminação por alumínio na água que sai das estações de tratamento e chega aos consumidores pela rede de abastecimento.

5.2 Análise de risco

A avaliação de risco pela metodologia FMEA analisou os principais perigos associados ao consumo da água de abastecimento das unidades de ensino, pois as condições sanitárias do recurso possuem potenciais efeitos na saúde dos usuários dos estabelecimentos. O Quadro 4 apresenta a parte I do formulário FMEA, referente a todos os estabelecimentos de ensino, preenchido durante a reunião da equipe multidisciplinar de especialistas. Já as Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 exibem a parte II do formulário FMEA com a quantificação do risco para os estabelecimentos de ensino EE1, EE2, EE3, EE4 e EE5, respectivamente. A parte II foi realizada de forma separada para os estabelecimentos de ensino devido às realidades distintas de cada estabelecimento.

Quadro 4 – Formulário FMEA preenchido - Parte I

Perigo	Efeito	Causa	Medidas mitigadoras
Alto pH	Incrustações nas tubulações prediais, agressividade da água para carros-pipas ou reservatórios de água e interferência do residual de desinfetante na água. Não apresenta efeitos adversos a saúde	Falhas no processo de correção de pH na ETA e estado de manutenção da rede de distribuição ou de carros-pipas	Utilização de substâncias tampão (para minimizar variações significativas) ou substância ácida para diminuição do pH
Baixo pH	Corrosão das tubulações prediais, agressividade da água para carros-pipas ou reservatórios de água, interferência do residual de desinfetante na água. Não apresenta efeitos adversos graves a saúde. Pode ser observado irritação de mucosas e pele	Falhas no processo de correção de pH na ETA e estado de manutenção da rede de distribuição ou de carros-pipas	Utilização de substâncias tampão (para minimizar variações significativas) ou utilização de substâncias básicas
Alto teor de cloro livre	Diarreia, bronquite, asma e irritação das mucosas e pele	Falhas na operação de desinfecção na ETA ou altas dosagens nos pontos de reaplicação da rede	Adoção de dosagens recomendadas pela Portaria de desinfetante
Baixo teor de cloro livre	Presença de microrganismos patogênicos	Falhas na operação de desinfecção na ETA, dosagens insuficientes nos pontos de reaplicação da rede, presença de substâncias redutoras ou reservatórios prediais de água sem manutenção e sem vedação adequadas	Adoção de dosagens recomendadas pela Portaria de desinfetante, instalação de pontos de recloração na rede, eliminação de substâncias orgânicas e inorgânicas reativas com o cloro, adequação do pH da água e melhorias das condições de vedação dos reservatórios
Alta cor aparente	Aspecto, odor e sabor desagradável, recrudescimento de microrganismos e interferência do residual de desinfetante na água	Aumento de substâncias que conferem cor no manancial, falhas em processos unitários da ETA, estado de conservação das redes de distribuição ou reservatórios prediais de água sem manutenção e sem vedação adequadas	Melhorias nos processos unitários de remoção da cor aparente e manutenção da rede de distribuição e melhoria na vedação de reservatórios e caixas d'água
Alta turbidez	Aspecto desagradável, adsorção de substâncias tóxicas, efeito escudo em microrganismos e interferência na desinfecção	Aumento de sólidos suspensos no manancial, falhas em processos unitários da ETA, estado de conservação das redes de distribuição ou reservatórios prediais de água sem manutenção e sem vedação adequadas	Melhorias nos processos unitários de remoção de turbidez, manutenção das redes de distribuição de água e limpeza periódica dos reservatórios prediais
Presença de Coliformes totais	Potencial de causar doenças diarreicas graves	Falhas nos processos unitários de filtração e desinfecção, falhas nos pontos de reaplicação de	Melhoria nos processos unitários de remoção de partículas orgânicas e inorgânicas (efeito-

		desinfetante na rede, estagnação da água, falta de limpeza e manutenção nos reservatórios prediais de água ou carros-pipas	escudo), melhorias no processo de desinfecção, manutenção de residual de cloro na rede, manutenção e vedação adequada de reservatórios e caixas d'água e re/cloração nos reservatórios
Presença de <i>E. coli</i>	Potencial de causar doenças diarreicas graves	Falhas nos processos unitários de filtração e desinfecção, falhas nos pontos de reaplicação de desinfetante na rede, estagnação da água, falta de limpeza e manutenção nos reservatórios prediais de água ou carros-pipas	Melhoria nos processos unitários de remoção de partículas orgânicas e inorgânicas (efeito-escudo), melhorias no processo de desinfecção, manutenção de residual de cloro na rede, manutenção e vedação adequada de reservatórios e caixas d'água e re/cloração nos reservatórios

Fonte: Autor (2023).

Inicialmente, destaca-se que para os perigos de natureza físico-químicos “alto e baixo pH”, “alto e baixo teor de cloro livre”, “alta cor aparente” e “alta turbidez”, o escore de detecção em todas as situações (estabelecimentos de ensino e pontos monitorados) recebeu o valor de 2, pois se tratam de parâmetros que para verificar a não conformidade ou conformidade são necessários a utilização de equipamentos de medições relativamente simples dentro do contexto de análises laboratoriais, como medidores digitais de pH, clorímetros, turbidímetros, colorímetros, entre outros. Já para os perigos de natureza microbiológica “coliformes totais” e “*E. coli*”, o escore de detecção em todas as situações (estabelecimentos de ensino e pontos monitorados) recebeu o valor de 3, pois se tratam de parâmetros que para verificar a não conformidade ou conformidade são necessários a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeira e temporalmente), como métodos enzimáticos de substrato por ensaio cromofluorogênico.

Situação semelhante pode ser verificada para o escore de abrangência. Para todos os estabelecimentos de ensino e nos dois pontos de monitoramento de cada unidade, o escore “abrangência” recebeu o valor de 3, pois a não conformidade, caso ocorra, afetará todos os funcionários e estudantes das instituições.

O escore de severidade atribuído aos perigos, “alto pH” e “baixo pH”, foi de 1 para todos os estabelecimentos de ensino e nos dois pontos de monitoramento em razão do alto ou o baixo pH, apesar de influenciarem em diversos processos unitários de potabilização da água,

por si sós não apresentam efeito deletério à saúde humana, e assim, não estão elencados na Portaria GM/MS nº 5/2017 (Brasil, 2017) com valores máximos ou mínimos permitidos. Além do mais, em relação ao pH alto, em nenhuma amostra foi registrado valores de pH superiores a 9,0, que é o valor de referência máximo recomendado pela literatura da área para evitar problemas de incrustações nas tubulações e diminuição do poder desinfetante do cloro, por exemplo. Por esse motivo para o escore ocorrência de todos os estabelecimentos de ensino e nos dois pontos de monitoramento, foi atribuído também o valor de 1, para o perigo “alto pH”.

Para o perigo “baixo pH”, o escore de ocorrência recebeu valores distintos entre os estabelecimentos de ensino. Para o EE1 e EE3, no universo amostral dos dois pontos monitorados, houve a ocorrência de mais de 5% de amostras não conformes, ou seja, abaixo de 6,0, que é o valor mínimo recomendado pela literatura da área para evitar problemas de corrosão das tubulações, o que poderia vir a contribuir com a existência de vazamentos que comprometessem a qualidade da água, além de diminuir o poder desinfetante do cloro, por exemplo. Por esse motivo, tanto para o Reservatório, quanto para o Ponto de Consumo, o escore atribuído foi de 3.

Já para o EE2, nos dois pontos monitorados, não foi registrado pH inferior a 6. Dessa forma, foi atribuído o valor de escore 1. Nos estabelecimentos de ensino EE4 e EE5 verificou-se mais de 5% de amostras não conformes, ou seja, abaixo de 6,0 no Reservatório, enquanto no Ponto de Consumo não houve não conformidades, ou seja, pH entre 6,0 e 9,0. Portanto, os valores de escore atribuídos foi de 3 e 1, respectivamente. O aumento de pH entre reservatório e torneira pode-se dar devido a fatores como aumento da temperatura e dissolução de substâncias básicas na água presentes na rede ou nos reservatórios.

Quanto ao perigo “alto teor de cloro livre”, o escore de severidade foi de 3 para todos os estabelecimentos de ensino em todos os pontos de monitoramento, por conta de, em caso de excesso, ou seja, acima de 5,0 mg/L estabelecido na Portaria em vigor, além de alterar o sabor da água, ao entrar em contato com a matéria orgânica, a cloração pode gerar thialometanos, que são substâncias cancerígenas (Silva; Tiba; Calazans, 2016). Todavia, em nenhum estabelecimento de ensino foi encontrado valores superiores ao estabelecido e, por consequência, foi atribuído o escore de 1 para a ocorrência.

Em relação ao perigo “baixo teor de cloro livre” o escore de severidade e ocorrência foi de 3 para todos os estabelecimentos de ensino em todos os pontos de monitoramento, pois em caso de insuficiência de cloro, a água representa risco a população abastecida devido a probabilidade da presença de microrganismos patogênicos, que causam efeitos graves à saúde

humana ou, até mesmo, a morte. No universo amostral dos dois pontos monitorados houve a ocorrência de mais de 5% de amostras não conformes, isto é, fora do estabelecido na Portaria. Obteve-se teor de cloro residual livre menor que 0,5 mg/L nos estabelecimentos de ensino abastecidas por carro-pipa e teor menor que 0,2 mg/L nos estabelecimentos de ensino abastecidas pelo sistema de redes de distribuição.

Para o perigo “alta cor aparente” e “turbidez” o escore de severidade também recebeu o valor de 3 em todos os casos, tal visto que altos valores de cor aparente, não gera inconvenientes apenas visual, olfativo ou no paladar. Altos valores estão relacionados a presença de substâncias húmicas ou fúlvicas que podem favorecer a geração de thialometanos, interferindo no residual de desinfetante e o recrudescimento de microrganismos. Já altos valores de turbidez, além de se relacionar com os inconvenientes citados para altos valores de cor aparente, ainda pode ser um indicativo da presença de microrganismos emergentes na água, como os cistos e oocistos de protozoários.

Com respeito ao escore de ocorrência para o perigo “alta cor aparente”, no EE1, EE4 e EE3 foram atribuídos valor de 1 e 3 para o Reservatório e o Ponto de Consumo, respectivamente. Este resultado aponta para um deterioramento da água entre a reservação e o consumo. No EE5 verifica-se o oposto: escore 3 para o reservatório e escore 1 para o ponto de consumo. Tal fato encontra respaldo na questão desse reservatório ter sua tampa de vedação danificada e a água do ponto de consumo não estar interligada a esse reservatório. Já para o EE2, o valor do escore foi de 1, para os dois pontos de monitoramento, por não ter sido verificado valores acima de 15 uH.

No que concerne ao escore ocorrência para o perigo “alta turbidez”, os valores atribuídos para todos os estabelecimentos de ensino e nos dois pontos de monitoramento foram semelhantes aos escores atribuídos ao perigo “alta cor aparente”, o que demonstra uma confiabilidade dos dados, já que esses dois parâmetros se relacionam. A única diferença coube ao Ponto de Consumo do EE4, que recebeu escore de 2, pois menos de 5% das amostras apresentaram não conformidade, isto é, valores superiores a 5 uT.

Acerca dos perigos microbiológicos “presença de coliformes totais” e “presença de *E. coli*”, o escore de severidade foi de 3, isso pelo motivo que a presença desses microrganismos na água pode levar a ocorrência de doenças no trato intestinal e urinário, por exemplo, com consequências de leves a graves, podendo evoluir para a morte. todos os estabelecimentos de ensino e nos dois pontos monitorados de cada estabelecimento de ensino, exceto o Reservatório do EE3, receberam escore de ocorrência 3, pois mais de 5% das amostras foram positivas

(presença) para esses parâmetros. O escore 3 para o Ponto de Consumo do EE3 justifica-se devido ao fato da existência de 2 amostras positivas para coliformes totais e uma amostra positiva para *E. coli* durante todo o período de monitoramento. Esses resultados de presença podem estar relacionados apenas a uma má higienização da torneira da cozinha no momento da coleta, já que num aspecto geral a água dessa instituição apresentou a melhor qualidade microbiológica.

Tabela 5 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE1

PERIGO	Reservatório						Ponto de Consumo					
	S	O	D	A	R	%RI	S	O	D	A	R	%RI
Alto pH	1	1	2	3	6	2,041	1	1	2	3	6	1,639
Baixo pH	1	3	2	3	18	6,122	1	3	2	3	18	4,918
Alto teor de cloro livre	3	1	2	3	18	6,122	3	1	2	3	18	4,918
Baixo teor de cloro livre	3	3	2	3	54	18,367	3	3	2	3	54	14,754
Alta cor aparente	3	1	2	3	18	6,122	3	3	2	3	54	14,754
Alta turbidez	3	1	2	3	18	6,122	3	3	2	3	54	14,754
Presença de coliformes totais	3	3	3	3	81	27,551	3	3	3	3	81	22,131
Presença de <i>E.coli</i>	3	3	3	3	81	27,551	3	3	3	3	81	22,131
Soma Total do Risco					294	Soma Total do Risco					366	

Fonte: Autor (2023).

Tabela 6 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE2

PERIGO	Reservatório						Ponto de Consumo					
	S	O	D	A	R	%RI	S	O	D	A	R	%RI
Alto pH	1	1	2	3	6	2,128	1	1	2	3	6	2,128
Baixo pH	1	1	2	3	6	2,128	1	1	2	3	6	2,128
Alto teor de cloro livre	3	1	2	3	18	6,383	3	1	2	3	18	6,383
Baixo teor de cloro livre	3	3	2	3	54	19,149	3	3	2	3	54	19,149
Alta cor aparente	3	1	2	3	18	6,383	3	1	2	3	18	6,383
Alta turbidez	3	1	2	3	18	6,383	3	1	2	3	18	6,383
Presença de coliformes totais	3	3	3	3	81	28,723	3	3	3	3	81	28,723
Presença de <i>E.coli</i>	3	3	3	3	81	28,723	3	3	3	3	81	28,723
Soma Total do Risco					282	Soma Total do Risco					282	

Fonte: Autor (2023).

Tabela 7 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE3

PERIGO	Reservatório						Ponto de Consumo					
	S	O	D	A	R	%RI	S	O	D	A	R	%RI
Alto pH	1	1	2	3	6	3,226	1	1	2	3	6	1,639
Baixo pH	1	3	2	3	18	9,677	1	3	2	3	18	4,918
Alto teor de cloro livre	3	1	2	3	18	9,677	3	1	2	3	18	4,918
Baixo teor de cloro livre	3	3	2	3	54	29,032	3	3	2	3	54	14,754
Alta cor aparente	3	1	2	3	18	9,677	3	3	2	3	54	14,754
Alta turbidez	3	1	2	3	18	9,677	3	3	2	3	54	14,754

Presença de coliformes totais	3	1	3	3	27	14,516	3	3	3	3	81	22,131
Presença de <i>E.coli</i>	3	1	3	3	27	14,516	3	3	3	3	81	22,131
Soma Total do Risco					186	Soma Total do Risco					366	

Fonte: Autor (2023).

Tabela 8 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE4

PERIGO	Reservatório						Ponto de Consumo					
	S	O	D	A	R	%RI	S	O	D	A	R	%RI
Alto pH	1	1	2	3	6	2,041	1	1	2	3	6	1,786
Baixo pH	1	3	2	3	18	6,122	1	1	2	3	6	1,786
Alto teor de cloro livre	3	1	2	3	18	6,122	3	1	2	3	18	5,357
Baixo teor de cloro livre	3	3	2	3	54	18,367	3	3	2	3	54	16,071
Alta cor aparente	3	1	2	3	18	6,122	3	3	2	3	54	16,071
Alta turbidez	3	1	2	3	18	6,122	3	2	2	3	36	10,714
Presença de Coliformes totais	3	3	3	3	81	27,551	3	3	3	3	81	24,107
Presença de <i>E.coli</i>	3	3	3	3	81	27,551	3	3	3	3	81	24,107
Soma Total do Risco					294	Soma Total do Risco					336	

Fonte: Autor (2023).

Tabela 9 – Formulário FMEA preenchido parte II – EE5

PERIGO	Reservatório						Ponto de Consumo					
	S	O	D	A	R	%RI	S	O	D	A	R	%RI
Alto pH	1	1	2	3	6	1,639	1	1	2	3	6	2,128
Baixo pH	1	3	2	3	18	4,918	1	1	2	3	6	2,128
Alto teor de cloro livre	3	1	2	3	18	4,918	3	1	2	3	18	6,383
Baixo teor de cloro livre	3	3	2	3	54	14,754	3	3	2	3	54	19,149
Alta cor aparente	3	3	2	3	54	14,754	3	1	2	3	18	6,383
Alta turbidez	3	3	2	3	54	14,754	3	1	2	3	18	6,383
Presença de Coliformes totais	3	3	3	3	81	22,131	3	3	3	3	81	28,723
Presença de <i>E.coli</i>	3	3	3	3	81	22,131	3	3	3	3	81	28,723
Soma Total do Risco					366	Soma Total do Risco					282	

Fonte: Autor (2023).

De acordo com a Tabela 2 de classificação de risco, que visa tornar a informação do risco mais representativa e que estar descrita na metodologia, observa-se que na soma total do risco, o EE1 e o EE4 apresentaram uma diferença de 72 pontos e 42 pontos, respectivamente, entre o Reservatório e o Ponto de Consumo. Enquanto para o Reservatório obteve-se 294 pontos nas duas instituições, para o Ponto de Consumo o risco foi de 366 pontos para o EE1 e 336 pontos para o EE4. Dessa forma, o consumo da água diretamente do Reservatório apresenta um risco moderado à saúde, enquanto no consumo diretamente da torneira o risco à saúde aumenta para alto, comprovando mais uma vez a degradação da água dentro das instituições (Tabela 10).

Tabela 10 – Resultado da classificação do risco à saúde da água dos Estabelecimentos de Ensino

	Reservatório	Classificação	Ponto de Consumo	Classificação
EE1	294	Risco Moderado	366	Risco alto
EE2	282	Risco Moderado	282	Risco Moderado
EE3	186	Risco Moderado	366	Risco alto
EE4	294	Risco Moderado	336	Risco alto
EE5	366	Risco alto	282	Risco Moderado

Fonte: Autor (2023).

No tocante ao EE2, não se verificou um decaimento ou comprometimento da qualidade da água dentro da edificação no que se refere ao risco à saúde dos usuários do estabelecimento de ensino. Tanto no Reservatório, quanto no Ponto de Consumo foi observado um risco moderado à saúde, obtendo 282 pontos (Tabela 10).

No EE3 observa-se a maior diferença (180 pontos) em termos de risco à saúde em relação a água dos dois pontos monitorados. No Reservatório obteve-se 186 pontos, correspondendo a um risco moderado, todavia muito próximo de um risco baixo. No Ponto de Consumo obteve-se 366 pontos, configurando-se risco alto à saúde. Esse resultado foi influenciado devido aos parâmetros cor aparente e turbidez, que em alguns meses do ano ultrapassaram o limite máximo permitido de 15 uH e 5 uT, respectivamente, no Ponto de Consumo, possivelmente devido a alguma sujidade presente na rede predial (Tabela 10).

Por fim, no EE5, no qual Reservatório e Ponto de Consumo não estão interligados, vê-se que o consumo da água do Reservatório, que se encontra em péssimo estado de conservação, representa um risco alto à saúde dos usuários do estabelecimento de ensino (366 pontos), enquanto o consumo da água da torneira da cozinha, ponto este interligado a outro reservatório, representa um risco moderado à saúde (282 pontos). De modo geral, nenhum estabelecimento de ensino ficou na faixa baixa de risco à saúde, abaixo de 161 pontos, tão pouco, na faixa crítica de risco à saúde, isto é, acima de 486 pontos (Tabela 10).

Em seguida, aplicando o cálculo da soma ponderada, descrito na metodologia, a partir da Equação 1, obteve-se a porcentagem de influência do risco individual no risco total de cada estabelecimento de ensino. Nas Tabelas 10 e 11 é possível observar em ordem decrescente a hierarquização em porcentagens da influência dos riscos individuais de cada parâmetro para EE1, EE2, EE3, EE4 e EE5, respectivamente.

Para o FMEA da água consumida nos estabelecimentos de ensino verificou-se o maior percentual de risco para a presença de Coliformes totais e *E. coli* em todos os estabelecimentos

de ensino, exceto no EE3, que como não foi verificada a presença desses indicadores microbiológicos na água do Reservatório, o parâmetro “baixo teor de cloro livre” assumiu maior percentual (29,03%), apesar de também ter sido verificado, nessa unidade de ensino, os valores de cloro livre mais acentuados quando comparado a outras instituições.

Dessa forma, na hierarquização, Coliformes totais e *E. coli* ambos assumiram a primeira colocação, insinuando para o fato de que quando da presença de Coliformes totais verificou-se também a presença de *E. coli*. Os dois parâmetros assumiram valores próximos a 25% em todos os estabelecimentos de ensino, exceto no EE3. Esse percentual assemelha-se ao de 24,77% para a *E. coli* obtido por Lucena (2018) ao avaliar a segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural do município de Campina Grande, no estado da Paraíba.

Essa alta porcentagem implica na necessidade eminente de adoções de medidas que minimizem ou solucionem esse problema nos estabelecimentos de ensino. Essas medidas, tanto para os riscos microbiológicos quanto físico-químicos, já foram descritas na parte I do formulário FMEA.

Em segundo lugar, vê-se que ficou o parâmetro “baixo teor de cloro livre” em todos os estabelecimentos de ensino, exceto no EE3, na qual o segundo lugar no Reservatório ficou a cargo dos Coliformes totais e *Escherichia coli*, assumindo 14,51%. Assim sendo, no EE3 nota-se situação inversa às outras realidades. Para o EE1, EE2, EE4 e EE5 o baixo teor de cloro livre no Reservatório representam 18,36%, 19,14%, 18,36% e 14,75%, respectivamente. Como já mencionado anteriormente, o baixo índice de cloro livre na rede interfere na existência de microrganismos, por isso nesta hierarquização percebe-se uma coerência dos dados: presença de organismos patogênicos e baixo teor de cloro livre nas primeiras colocações.

O alto pH foi o parâmetro que menos influenciou o risco nos estabelecimentos de ensino, assumindo a última colocação em todas, exceto no EE2, que ficou na penúltima colocação. A última colocação nesse estabelecimento de ensino ficou para o baixo pH. O alto pH obteve valores abaixo ou um pouco acima dos 3%.

Os resultados da avaliação de risco por meio da metodologia FMEA apontaram que as medidas mais urgentes devem estar voltadas aos estabelecimentos de ensino EE1, EE4 e EE5. Foi verificado que as condições de reservação da água influenciam na manutenção da qualidade da água para o consumo humano. O EE2 e o EE3, que dispõem de reservatórios em locais limpos e protegidos, configuraram-se como os estabelecimentos de ensino que dispõem de uma água com menor risco à saúde aos usuários dos estabelecimentos de ensino.

Do ponto de vista socioeconômico, assegurar um sistema de distribuição e reservação

de água adequados e seguros através de políticas de recuperação e manutenção de redes públicas de distribuição e de redes prediais, limpeza periódica de reservatórios de água e inspeções periódicas nos carros-pipas utilizados na distribuição de água garantem maior qualidade de vida a população, principalmente quando se trata de crianças que têm o sistema imunológico menos desenvolvido. Assim, como aponta a OMS (ONU, 2010), o investimento em saneamento proporciona uma economia em serviços de saúde no tratamento de doenças diarreicas na ordem de um para quatro. Garantir uma água com qualidade para crianças e jovens proporcionam o direito humano de viverem em um ambiente salutar, contribuindo no desenvolvimento escolar, na diminuição de evasão e na construção de uma carreira profissional.

Tabela 11 – Hierarquização dos perigos – Parte I

EE1		EE2				EE3			
Reservatório	Ponto de Consumo								
Presença de coliformes totais	27,55 %	Presença de coliformes totais	22,13 %	Presença de coliformes totais	28,72 %	Baixo teor de cloro livre	29,03 %	Presença de coliformes totais	22,13 %
Presença de <i>E.coli</i>	27,55 %	Presença de <i>E.coli</i>	22,13 %	Presença de <i>E.coli</i>	28,72 %	Presença de coliformes totais	14,51 %	Presença de <i>E.coli</i>	22,13 %
Baixo teor de cloro livre	18,36 %	Baixo teor de cloro livre	14,75 %	Baixo teor de cloro livre	19,14 %	Presença de <i>E.coli</i>	14,51 %	Baixo teor de cloro livre	14,75 %
Baixo pH	6,12 %	Alta cor aparente	14,75 %	Alto teor de cloro livre	6,38 %	Baixo pH	9,67 %	Alta cor aparente	14,75 %
Alto teor de cloro livre	6,12 %	Alta turbidez	14,75 %	Alta cor aparente	6,38 %	Alto teor de cloro livre	9,67 %	Alta turbidez	14,75 %
Alta cor aparente	6,12 %	Baixo pH	4,91 %	Alta turbidez	6,38 %	Alta cor aparente	9,67 %	Baixo pH	4,91 %
Alta turbidez	6,122 %	Alto teor de cloro livre	4,91 %	Alto pH	2,12 %	Alta turbidez	9,67 %	Alto teor de cloro livre	4,91 %
Alto pH	2,04 %	Alto pH	1,63 %	Baixo pH	2,12 %	Alto pH	3,22 %	Alto pH	1,63 %

Fonte: Autor (2023).

Tabela 12 – Hierarquização dos perigos – Parte II

EE4				EE5			
Reservatório		Ponto de Consumo		Reservatório		Ponto de Consumo	
Presença de coliformes totais	27,55 %	Presença de coliformes totais	24,10 %	Presença de coliformes totais	22,13 %	Presença de coliformes totais	28,72 %
Presença de <i>E.coli</i>	27,55 %	Presença de <i>E.coli</i>	24,10 %	Presença de <i>E.coli</i>	22,13 %	Presença de <i>E.coli</i>	28,72 %
Baixo teor de cloro livre	18,36 %	Baixo teor de cloro livre	16,07 %	Baixo teor de cloro livre	14,75 %	Baixo teor de cloro livre	19,14 %
Baixo pH	6,12 %	Alta cor aparente	16,07 %	Alta cor aparente	14,75 %	Alto teor de cloro livre	6,38 %
Alto teor de cloro livre	6,12 %	Alta turbidez	10,71 %	Alta turbidez	14,75 %	Alta cor aparente	6,38 %
Alta cor aparente	6,12 %	Alto teor de cloro livre	5,35 %	Baixo pH	4,91 %	Alta turbidez	6,38 %
Alta turbidez	6,12 %	Alto pH	1,78 %	Alto teor de cloro livre	4,91 %	Alto pH	2,12 %
Alto pH	2,04 %	Baixo pH	1,78 %	Alto pH	1,63 %	Baixo pH	2,12 %

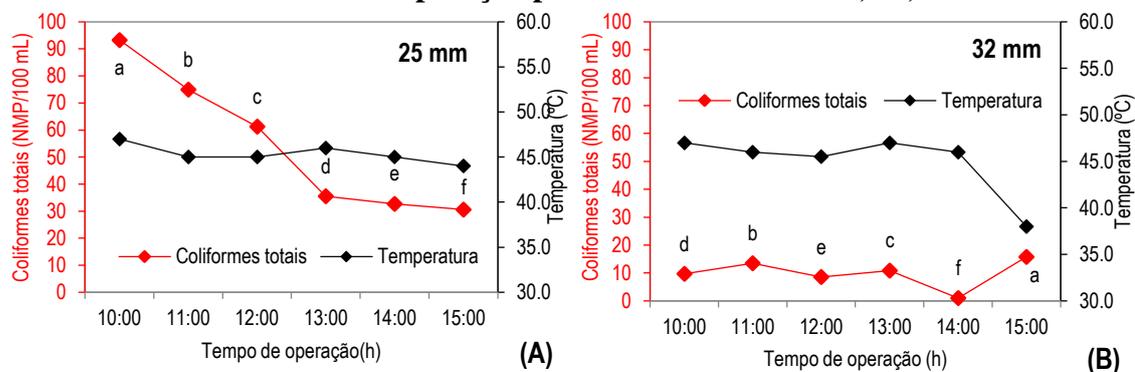
Fonte: Autor (2023).

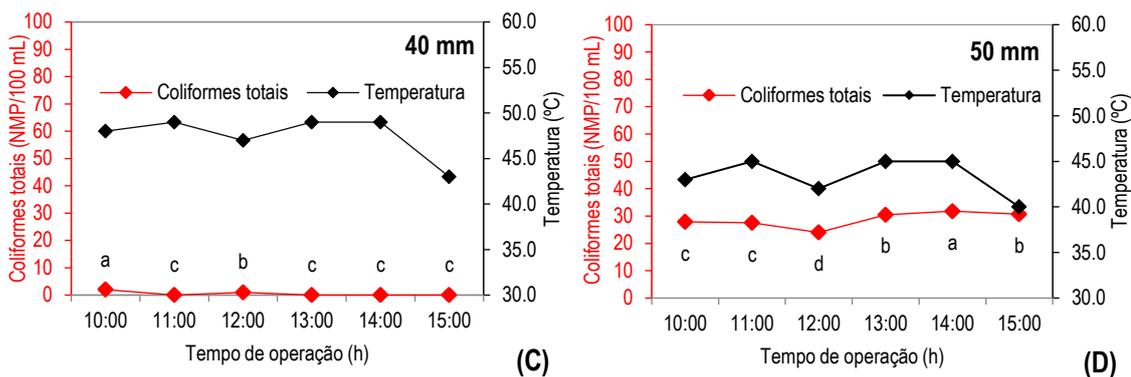
5.3 Monitoramento do SOPAS

Na análise da água do EE4, foi verificado uma turbidez de 1,32 uT, cor aparente de 5 uH, a presença de Coliformes totais acima de 2419,6 NMP/100 mL e 178,2 NMP/100 mL de *E. coli*. De posse da informação da existência de contaminação por bactérias do Grupo Coliforme na água coletada no estabelecimento de ensino, a água foi submetida ao aquecimento gradativo no SOPAS. O sistema de pasteurização solar foi avaliado em termos de inativação de Coliformes totais e *E. coli* para quatro diâmetros diferentes com um tempo de detenção de uma hora. Na Figura 30 encontram-se os resultados com os valores médios obtidos de remoção de Coliformes totais e as temperaturas que a água atingiu ao fim de cada hora de operação para os diâmetros de 25, 32, 40 e 50 mm.

A radiação solar ao longo do dia com a consequente transferência de calor das tubulações para a água, a temperatura que a água alcançou, o diâmetro da tubulação e a posição da tubulação na placa de alumínio foram os fatores que influenciaram o desempenho do sistema em termos de inativação de Coliformes totais.

Figura 30 – Resultado da temperatura da água e da concentração de Coliformes totais ao final de cada hora de operação para os diâmetros de 25, 32, 40 e 50 mm





Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Fonte: Autor (2024).

Para o diâmetro de 25 mm (Figura 30A), verifica-se que as médias de todos os tratamentos são estatisticamente diferentes. Na primeira coleta, realizada às 10 horas da manhã, o NMP/100 mL foi de 93,3 e a temperatura medida da água foi de 47 °C configurando-se a maior temperatura obtida para o diâmetro de 25 mm. Nas bateladas subsequentes, ao longo do dia, em comparação com a água antes do tratamento, obteve-se concentrações menores de Coliformes, sendo que às 15 horas verificou-se o valor de 31,0 NMP.

Em relação ao diâmetro de 32 mm, verifica-se resultados superiores ao diâmetro de 25 mm. Todavia, as médias de todos os tratamentos também são estatisticamente diferentes (Figura 30B). Às 14 horas com a água atingindo 46 °C, obteve-se 1,0 NMP, resultado que se configurou como o mais satisfatório para esse diâmetro. Contudo, a maior temperatura atingida pela água nessa tubulação (47 °C) foi registrada às 10 e 13 horas. Esse fato é um indicativo de que os resultados são influenciados por todas as condições climáticas do horário da batelada, como por exemplo, a nebulosidade do céu e a radiação solar horária que atinge a tubulação e transfere calor da tubulação para a água, aumentando a temperatura do líquido. Nesse sentido, torna-se necessária a mediação de radiação solar local no momento de operação do SOPAS.

Segundo Fernandes, Cavalcante e Batista (2019) o processo de desinfecção pela energia solar tem dois componentes principais: a luz ultravioleta, que irradia os microrganismos e induz a formação de formas reativas de oxigênio e a radiação infravermelha (calor) que aquece a água. Neste caso, a desinfecção ocorre pelo segundo componente que aumenta a temperatura da água. A radiação ultravioleta não atinge a água, mas ao atingir o coletor solar interage com os materiais dos componentes do coletor e através dos processos de absorção, refração, reflexão e dispersão, transfere calor ao líquido a ser tratado.

Verifica-se que entre todos os diâmetros avaliados o que apresentou os melhores

resultados foi o diâmetro de 40 mm (Figura 30C). Nas coletas realizadas às 11, 13, 14 e 15 horas foi possível obter ausência de Coliformes totais. A maior temperatura que a água alcançou dentro do pasteurizador foi de 49 °C, apenas na tubulação de 40 mm, no horário das 11, 13 e 14 horas. Assim, têm-se que a temperatura de pasteurização para o SOPAS construído e operado dentro das condições experimentais apresentadas é de 49 °C para um tempo de detenção de 1 hora.

Caslake *et al.* (2004) obtiveram uma inativação de *E. coli* de 99% a uma temperatura de 55 °C em um tempo de detenção de 44 min para uma água com turbidez entre 0,09 e 0,32 uT. Rodrigues (2011) determinou a temperatura no SOPAS de 60 °C como a necessária para a inativação do Grupo Coliforme; no entanto a autora apontou que a inativação já ocorria em temperaturas inferiores. Bigoni *et al.* (2014) consideraram uma temperatura de pasteurização de 87 °C. Silva, Tiba e Calazans (2016), determinaram que para 1 hora de tempo de detenção, a temperatura de pasteurização é de 55 °C. Já Cerqueira *et al.* (2021) pontuam que no sistema SOPAS, para haver a descontaminação, a água deve ser mantida acima de 60 °C por um determinado período. Portanto, contempla-se uma discrepância na literatura sobre a temperatura de pasteurização. O consenso entre os pesquisadores consiste no fato que o tempo necessário para a inativação depende do microrganismo, mas tipicamente esse tempo diminui exponencialmente com a temperatura (Rodrigues, 2011; Sorrentino *et al.*, 2020).

Essa discrepância em valores de temperatura de pasteurização é justificável. O sistema SOPAS depende de diversas variáveis construtivas e ambientais. O material que compõe o sistema, o local onde o sistema é instalado, a temperatura e a radiação solar média local, os meses do ano em que o sistema é operado, como também a origem e a qualidade da água a ser tratada, são fatores que contribuem na determinação de parâmetros ótimos de operação (Silva; Tiba; Calazans, 2016; Rodrigues, 2018; Cerqueira *et al.*, 2021).

A inclinação do pasteurizador solar é outra variável dependente. Apesar de Lima e Gonçalves (2018) apontarem que todos os aparelhos de natureza solar devem ser posicionados em direção ao norte verdadeiro e com ângulo igual a latitude local, estudos já pontuaram que a variação do ângulo de inclinação pode interferir no desempenho do sistema, isto é, a produtividade em função da radiação (Silva; Tiba; Calazans, 2016). Assim sendo, a aplicação de um pasteurizador solar depende de estudos individuais para cada realidade.

No tocante ao diâmetro de 50 mm (Figura 30D), o melhor resultado de inativação foi às 12 horas, obtendo 24, 1 NMP de Coliformes totais. A temperatura do líquido no momento da coleta foi de 42 °C. Coliformes totais e *E. coli* são organismos sensíveis a alterações bruscas

das condições ambientais (Berney *et al.*, 2006), por isso, observa-se variações no número mais provável, pois ao longo do dia, as condições climáticas locais sofrem interferências, como a presença de nuvens que geram sombreamento e diminuem a incidência da radiação que atinge as tubulações e, por consequência, altera a temperatura da água.

Em relação a *E. coli*, foi verificada a ausência em todas as amostras tratadas. Todos os diâmetros durante às seis horas de funcionamento do sistema proporcionaram a inativação desse indicador. Bigoni *et al.* (2014) em seu experimento também obtiveram elevadas taxas de inativação de *E. coli* em todas as amostras coletadas, independentemente das condições climáticas em que operou o pasteurizador. Dessa forma, verifica-se a sensibilidade da *E. coli* quando exposta ao calor intenso proporcionado por índices de radiação solar significativos, demonstrando que a pasteurização pode ser uma abordagem válida para garantir a qualidade microbiológica da água, principalmente em países em desenvolvimento com alto potencial solar, como aponta a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2018).

Berney *et al.* (2006) afirma que a *E. coli* apresenta sensibilidade ao calor a partir de 45 °C. Forsythe (2013) pontua que alguns sorotipos de *E. coli* não se multiplicam acima de 42 °C. Portanto, o calor transferido para a água por meio da radiação incidente nas tubulações, altera o metabolismo celular e a reprodução, levando-as à morte. Esse fato também justifica a alta sensibilidade da *E. coli* a radiação UV direta e o motivo para o emprego desse método físico na descontaminação da água (Braga, 2018). Bryant, Folton e Budd (1992), Silva *et al.* (2013) e Fernandes, Cavalcante e Batista (2019), sinalizam que a radiação infravermelha, com comprimento de onda superior a 700 nm, é absorvida pela água, aumentando sua temperatura e matando os microrganismos patogênicos sensíveis ao calor. A maioria desses microrganismos não toleram uma hora de exposição a uma temperatura de 50 a 60 °C.

É relevante o fato que a temperatura ambiente média para o período das 6 horas de monitoramento foi de 30 °C, mostrando que a água no sistema construído atingiu temperaturas superiores à temperatura ambiente. Independente do diâmetro e da hora do dia, o sistema SOPAS proporcionou um tratamento da água em termos de inativação de Coliformes totais e de *E. coli*, demonstrando o potencial de se utilizar à desinfecção térmica para tratamento microbiológico da água. Na Tabela 13, pode-se observar o diâmetro e os horários do dia com os melhores resultados em NPC de Coliformes totais e *E. coli* no pasteurizador.

Tabela 13 – Melhores resultados do tratamento no SOPAS

Condições Experimentais	Parâmetros Microbiológicos
-------------------------	----------------------------

<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Horário (h:min)</i>	<i>Temperatura da água (°C)</i>	<i>Coliformes totais</i>	<i>E. coli</i>
25	15:00	44	30,5	Ausência
32	14:00	46	1,0	Ausência
40	11:00	49	Ausência	Ausência
40	13:00	49	Ausência	Ausência
40	14:00	49	Ausência	Ausência
40	15:00	43	Ausência	Ausência
50	12:00	45	24,1	Ausência

Qualidade da água antes do tratamento: Coliformes totais >2419,6 NMP/100mL; *E. coli* 178,2 NMP/100mL.

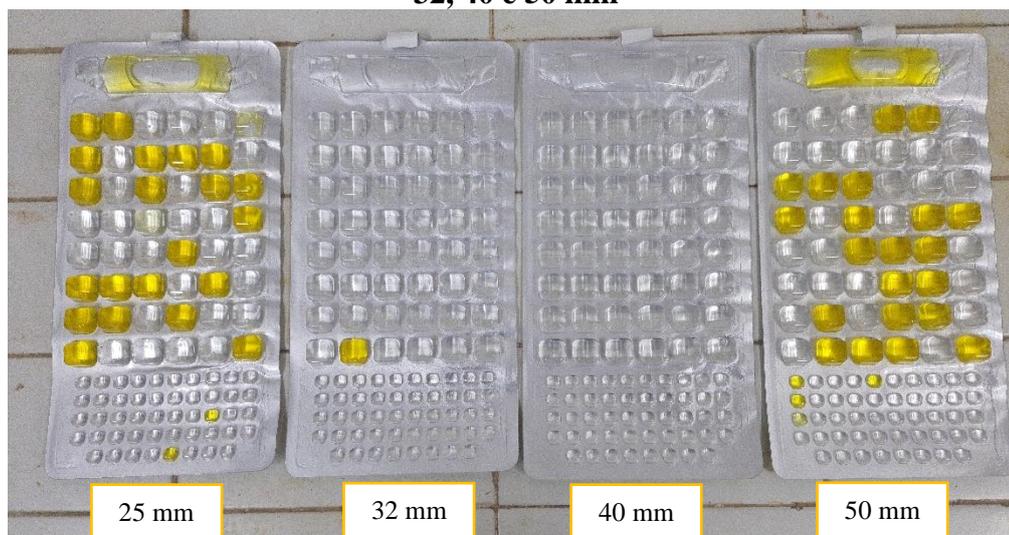
Fonte: Autor (2024).

Não é possível afirmar que o diâmetro de 40 mm é o mais eficiente na inativação de microrganismos do grupo Coliformes e na produção em volume de água tratada, pois seria necessário a realização de testes com este diâmetro em outras posições sobre a placa de alumínio para verificar a existência ou não de uma influência da posição da tubulação no recebimento de calor e aumento da temperatura, até mesmo porque depois do diâmetro de 40 mm, o diâmetro de 32 mm foi o que forneceu reduções mais significativas dos indicadores microbiológicos. Os dois diâmetros têm de semelhante o fato de estarem mais ao centro da chapa de alumínio. Assim, neste momento, a influência da área superficial das tubulações não pôde ser analisada.

De maneira geral, a partir das 13 horas obteve-se uma menor concentração de Coliformes totais em todos os diâmetros, demonstrando que durante o período da tarde os raios solares refletidos pela chapa de alumínio, a radiação UV sobre as tubulações e a absorção de calor pela água foram mais intensos. Na Figura 31 pode-se visualizar a eficiência do tratamento após o tratamento do SOPAS às 14 horas para os diferentes diâmetros avaliados.

Figura 31 – Resultado do tratamento do SOPAS às 14:00 horas para os diâmetros de 25,

32, 40 e 50 mm



Poços turvos positivo para Coliformes totais.

Fonte: Autor (2023).

Em relação à temperatura, observa-se um decaimento do valor em todas as tubulações a partir das 15 horas da tarde, o que sugere que para o local onde o SOPAS foi instalado, esse é o horário limite para terminar as bateladas do sistema, pois a partir desse horário a água não atingirá mais a temperatura de pasteurização e a inativação de Coliformes totais e *E. coli*, pode ser bem menos efetiva, não garantindo a segurança da água para consumo.

Bigoni *et al.* (2014) afirmam que a pasteurização solar não garante residual desinfetante na água, como nos métodos de desinfecção química. Sendo assim, pode haver recontaminação microbiana ou o novo crescimento após o tratamento. Os autores sugerem que a razão para o novo crescimento de bactérias depende da persistência de nutrientes na água e não da inativação microbiana parcial durante o tratamento de pasteurização. Por esse motivo, Wegelin *et al.* (1994) aponta que para que a desinfecção pela luz solar seja eficiente, a água a ser tratada deve apresentar turbidez menor que 30 uT. Veloso (2010) identificou que a turbidez influenciou na inativação de Coliformes totais no processo de tratamento solar da água, aumentando o tempo e a temperatura necessária. A 50 °C e sem turbidez ocorreu completa inativação, enquanto com alta turbidez esta inativação só ocorreu a 52 °C. Fernandes, Cavalcante e Batista (2019) assinalam que uma turbidez elevada da água pode conferir proteção aos microrganismos e diminuir a inativação bacteriana, facilitando também, o recrescimento bacteriano. Por isso, segundo os autores, é necessário realizar um processo de filtração ou decantação anterior à exposição solar.

No entanto, Rodrigues (2011) afirma que a vantagem do sistema SOPAS é que a

inativação de microrganismos é efetiva, não havendo recrescimento bacteriano após a pasteurização. Já Silva, Tiba e Calazans (2016), pontuam que a turbidez não interfere nos resultados do SOPAS. Sendo assim, é importante a realização de análises de turbidez após o tratamento e antes da reservação da água pasteurizada, para entender esse comportamento em cada caso. Após a reservação, pode-se também proceder análises para verificar a ressurgência ou não de microrganismos e, em caso positivo, detectar o tempo que se leva para essa ressurgência acontecer. Amaral *et al.* (2006), por exemplo, verificaram o recrescimento bacteriano após 72 horas do tratamento da água com radiação solar, pelo método SODIS, em amostras que ficaram reservadas e protegidas da ação da luz solar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da qualidade da água dos estabelecimentos de ensino mostrou-se uma ferramenta importante para subsidiar os gestores de ensino e municipais na tomada de decisões em relação aos sistemas coletivos e alternativos e nos cuidados com os reservatórios prediais, exigindo as intervenções adequadas quando da ocorrência de não conformidades na água de acordo a legislação em vigor, que para além da saúde humana, comprometa também a integridade do sistema de abastecimento.

Verificou-se que apenas o recebimento da água com boa qualidade nos estabelecimentos de ensino não é suficiente para garantir a segurança para o consumo. Os reservatórios mal vedados, verificados nos estabelecimentos de ensino EE1 e EE5 e as condições do local as quais está o reservatório do EE4 podem facilitar a entrada de excrementos de pequenos animais, como lagartixas e baratas, ou até mesmo servir como abrigo destes animais. Esses fatos podem levar a contaminação da água a ser utilizada. Essas fissuras também favorecem a entrada da água da chuva, que pode carrear substâncias nocivas, assim como alterar o pH da água.

A tampa do reservatório do EE1 altamente oxidada pelo cloro residual, por exemplo, que se transforma em agente oxidante na forma de ácido hipocloroso e íons hipoclorito, pode ser causa para a dissolução na água de substâncias que comprometem a saúde do ser humano. Em função desse agente oxidante, essa tampa de metal deve ser substituída por outra tampa revestida com uma tinta epóxi apropriada para condições de alta umidade.

De maneira geral, em termos físico-químicos, as maiores preocupações para o EE1 é a presença de alumínio e o baixo pH da água. Em relação ao EE2, a contaminação da água por nitrito representa o maior problema, assim como a dosagem de cloro no reservatório sem aporte técnico. A água consumida no EE3 representa uma preocupação em termos de contaminação pelo metal alumínio. Todos esses estabelecimentos de ensino, exceto o EE3, apresentam alta sensibilidade a contaminação microbiológica da água, inclusive os estabelecimentos de ensino EE4 e EE5, configurando-se como o perigo de maior relevância para os usuários dos estabelecimentos de ensino.

A contaminação microbiológica torna-se ainda mais preocupante porque a água dos cinco estabelecimentos de ensino apresenta baixa dureza, baixa concentração de cloretos (uma água doce), sem presença de substâncias que conferem sabor, como por exemplo, o ferro, fazendo com que o produto pareça potável e adequado ao consumo, já que a população costuma guiar-se por seus sentidos de olfato, paladar e visão na escolha da água para consumo.

Nesse sentido, a utilização de água mineral em detrimento de bebedouros convencionais em todas os estabelecimentos de ensino foi vista como um ponto positivo, pois mesmo com o emprego de filtros, a água pode continuar contaminada por organismos patogênicos.

Em continuidade, apesar do monitoramento da água ser política de extrema importância, apenas essa ação é insuficiente para garantir segurança sanitária da água, já que o monitoramento reflete as características da água em uma condição passada. Sendo assim, não é uma medida que forneça uma ação corretiva imediata e ampla por ser baseada em princípios estatísticos. Desse modo, a utilização do método Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) mostrou-se como importante ferramenta na identificação dos perigos mais preocupantes à saúde e na identificação de medidas corretivas para resolver os problemas. A contínua política de monitoramento e análise do risco à saúde da água consumida aumenta a confiança da dos usuários dos estabelecimentos de ensino para a utilização deste produto.

O presente estudo também demonstrou claramente que o SOPAS pode danificar as células microbianas devido à exposição ao calor, inativando a *E. coli* com grande eficiência. O pasteurizador de baixo custo construído e testado com a água de abastecimento do EE4 foi capaz de inativar 100% das bactérias do grupo Coliformes, indicando uma excelente tecnologia para tornar a água segura para uso, principalmente em regiões com alto potencial solar, como o Nordeste Brasileiro.

Os resultados demonstraram uma inativação completa com um tempo de detenção de uma hora, principalmente no período da tarde, utilizando o diâmetro de tubulação de 40 mm. Todavia, a determinação do diâmetro ótimo de operação não foi conclusiva e, por isso, não foi possível determinar a produtividade de água tratada por dia. Assim, sugere-se que novos testes sejam realizados monitorando o pasteurizador solar com o diâmetro de 40 mm em outras posições na chapa de alumínio e com tempos de detenção menor. Como a leitura da temperatura da água e as coletas das amostras foram realizadas apenas com um escalonamento de hora em hora, é interessante que adiante seja realizado o monitoramento do pasteurizador com um escalonamento de leitura de temperatura da água e coleta de amostras em um intervalo menor. Em caso de resposta positiva de inativação, isso favorecerá uma maior produção de água tratada por dia.

Deve-se testar outros materiais para as tubulações do coletor solar, variar o ângulo de inclinação do coletor, inserir um trocador de calor para aumentar a eficiência do SOPAS em termos de produção de água tratada por dia, automatizar o sistema dentro dos preceitos da indústria 4.0 e fazer medições de radiação solar com o auxílio de um piranômetro no local dos

testes e com escalonamentos pré-definidos.

Recomenda-se, também, que o sistema de pasteurização solar seja monitorado tanto em dias mais nublados do inverno quanto em dias mais ensolarados do verão, com o objetivo de se obter dados de eficiência do sistema em diferentes épocas do ano. Também se propõe que o SOPAS seja testado no local exato para onde pretende-se fornecer água de qualidade, como nos próprios estabelecimentos de ensino, verificando a capacidade de tratar um volume de água que atenda as demandas diárias. Por fim, é interessante que sejam realizadas leituras de turbidez nas amostras após o tratamento no SOPAS, com o intuito de verificar como esse parâmetro físico-químico se comporta e influencia no tratamento.

7 REFERÊNCIAS

ABCON - ASSOCIAÇÃO E SINDICATO NACIONAL DAS CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO. **Leilões do saneamento vão demorar mais a chegar em São Paulo.** 2022. Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/leiloes-do-saneamento-vao-demorar-mais-a-chegar-em-sao-paulo/>. Acesso em: 20 de out. 2023.

ALABURDA, Janete; NISHIHARA, Linda. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 160-165, abr. 1998.

ALENCAR, Isabela Zacarias de; VIANA, Vanálya Rodrigues; MALHEIRO, Djailson Ricardo; SANTOS, Francisco Antônio Vieira dos. Ausência de saneamento básico e sua relação com a diarreia em crianças no nordeste brasileiro, nos anos de 2007 a 2019: uma revisão de literatura. **Estação Científica**, Juiz de Fora, v. 22, p. 1-14, 2019.

ALVES, Adriano Gama; FORMAGGIA, Denise Maria Elisabeth; FERNANDES, Márcio Luiz Rocha de Paula; MACHADO, Paulo Afonso da Mata; SOUZA, Roseane Maria Garcia Lopes de. **Padrão de potabilidade: Contexto histórico das portarias de potabilidade, dúvidas, indagações, considerações e preocupações da nova Portaria GM/MS nº 888/21.** 2021. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Artigo-2.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2022.

AMARAL, L. A.; NUNES, A.P.; CASTANIA, J.; LORENZON, C. S.; LORENZON, C. S.; BARROS, L. S. S.; NADER FILHO, A. Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos. **Arquivos do Instituto Biológico**, [S.L.], v. 73, n. 1, p. 45-50, jan. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657v73p0045006>.

AMARAL, Luiz André; STEFANO, Silvio Roberto; CHIUSOLI, Cláudio Luiz. Sustentabilidade organizacional na perspectiva do Triple Bottom Line: o caso Itaipu Binacional. **Revista Eletrônica Científica do Cra-Pr**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 52-68, 2018.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB. Brasília: ANA, 2011.

ANDRADE, Karla V.S.A.; RODAL, Maria Jesus N. Fisionomia e estrutura de um remanescente de floresta estacional semidecidual de terras baixas no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 463-474, set. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-84042004000300007>.

ANDRADE, Lazaro Ramom dos Santos; Araújo, Sérgio Murilo Santos; ANDRADE, Marília Zulmira Sena de Souza; MEDEIROS, Luísa Eduarda Lucena. Degradação ambiental no Açude de Bodocongó na cidade de Campina Grande, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 74, 1 jan. 2018. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i1.5377>

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Estações do ano.** 2020.

Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/estacoes-do-ano.php?estacao=primavera#:~:text=Genericamente%2C%20na%20tradi%C3%A7%C3%A3o%20do%20povo,meteorol%C3%B3gicas%20ao%20longo%20do%20ano>. Acesso em 22 de jan. 2024.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American public health association, 2017.

ATLAS BR. **São Lourenço da Mata, PE**. 2010. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil/municipio/261370>. Acesso em: 19 out. 2023.

BARBIERI, José Carlos; VASCONCELOS, Isabella Freitas Gouveia de; ANDREASSI, Tales; VASCONCELOS, Flávio Carvalho de. Inovação e Sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Rae*, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 146-154, abr-jun. 2010.

BARRETO, Raylene Logrado; PEDREIRA, Marly Moreira; WILL, Rosane Maria Magalhães Martins. Monitoramento da qualidade da água para consumo humano no estado da Bahia no ano 2014. *Revista Baiana de Saúde Pública*, S.L., v. 39, p. 31-40, jul-set. 2015.

BERNARDINO, Fernanda Gomes; SILVA, Sandra Gomes Corrêa; SOUZA, Neyliane Costa de. Análise da qualidade da água através do uso de indicadores sentinelas em escolas públicas de ensino infantil de Campina Grande - PB. In: III WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2017, *Anais [...]*. Campina Grande: Wiasb, 2017. p. 1-15.

BERNEY, M.; WEILENMANN, H.-U.; SIMONETTI, A.; EGLI, T. Efficacy of solar disinfection of *Escherichia coli*, *Shigella flexneri*, *Salmonella Typhimurium* and *Vibrio cholerae*. *Journal Of Applied Microbiology*, [S.L.], v. 101, n. 4, p. 828-836, out. 2006. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02983.x>.

BEZERRA, Ivanhoé Soares; DAMÁZIO, Débora Hypólito Lins; SILVA, Vinicius Novo da. Análise de técnicas de pasteurização e descontaminação da água por luz solar: potencial aplicação no semiárido brasileiro. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, João Pessoa, v. 5, p. 220-225, dez. 2017.

BIGONI, Riccardo; KÖTZSCH, Stefan; SORLINI, Sabrina; EGLI, Thomas. Solar water disinfection by a Parabolic Trough Concentrator (PTC): flow-cytometric analysis of bacterial inactivation. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 67, p. 62-71, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.014>.

BIGUELINI, Cristina Poll; GUMY, Mariane Pavani. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do paraná. *Revista Faz Ciência*, S.L., v. 14, n. 20, p. 153-175, jul-dez. 2012.

BORELLI, Elizabeth. Política de saneamento básico no Brasil versus Agenda 2030. *Ponto-e-Vírgula*, São Paulo, v. 27, p. 19-32, jan-jun. 2020.

BRAGA, Cíntia Maia. **Aplicação de radiação ultravioleta na inativação de microrganismos**

deteriorantes de alimentos. 186 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BRAGA, Erika Sampaio; FREITAS, Caio Barroso Freitas Barroso; MENDES, Luzia Suerlange Araújo dos Santos; AQUINO, Marisete Dantas de. Avaliação da qualidade de águas subterrâneas localizadas no litoral, serra e sertão do Estado do Ceará destinadas ao consumo humano. **Revista Águas Subterrâneas**, [S.L], v. 32, n. 1, p. 17-24, 2018.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 1 dez. 2022.

BRASIL. Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em 23 de jul. de 2023.

BRASIL. Lei Nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm. Acesso em 23 de jul. de 2023.

BRASIL. Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em 23 de jul. de 2023.

BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico, e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em 23 de jul. de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Portaria nº 1.469 de 29 de dezembro de 2000. Brasília, DF: **FUNASA**, 2001. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_1469.pdf. Acesso em: 14 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2017. Disponível em: http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 14 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2021. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 3 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 2.472, de 28 de setembro de 2021. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt2472_30_09_2021.html. Acesso em: 14 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 14 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de Segurança da Água**: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Portaria MS n.º 518 de 25 de março de 2004. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, 2004. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf. Acesso em: 14 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea estado de Pernambuco**. Diagnóstico do município de São Lourenço da Mata. Recife: CPRM/PRODEEM, set. 2005.

BRYANT, E. A.; FOLTON, G. P.; BUDD, G. C. **Disinfeccion alternatives for safe drinking water**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 518 p.

CAIRNCROSS, Sandy; FEACHEM, Richard. **Environmental Health Engineering in the Tropics: an introductory text**. 2. ed. Chichester: Wiley, 1993. 320 p.

CAPELETO, Ana Luisa Oliveira; CARDOSO, Julia; DOBROWOLSKI, Julia; DIONÍZIO, Rafaela Medeiros. Análise dos Modos de Falha e Efeitos (AMFE). **Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo**, 2018.

CAPOBIANCO, João Paulo Ribeiro; SANTO, Gesmar Rosa dos; CHECCO, Guilherme Barbosa; MENDES, Alesi Teixeira. SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: perfil do investimento público para a universalização e promoção do direito humano à água. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, [S.L.], v. 29, p. 25-33, jan-jun. 2023.

CARDOSO, Luciana Sousa; CARLI, Geraldo A. de; LUCA, Sérgio João de. Cryptosporidium e Giardia em efluentes biologicamente tratados e desinfetados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 285-290, out-dez. 2003.

CARMO, Cassiano Gonçalves Simões do; SOARES, Marcus Bruno Domingues. Avaliação

preliminar do desempenho de um destilador solar piramidal para produção de água para consumo humano. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 30, n. 1, p. 291-312, jan-jun. 2022. Semestral.

CASLAKE, Laurie F.; CONNOLLY, Daniel J.; MENON, Vilas; DUNCANSON, Catriona M.; ROJAS, Ricardo; TAVAKOLI, Javad. Disinfection of Contaminated Water by Using Solar Irradiation. **Applied And Environmental Microbiology**, [S.L.], v. 70, n. 2, p. 1145-1151, fev. 2004. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.70.2.1145-1150.2004>.

CERQUEIRA, Tiago Batista. **Concentrador solar disco parabólico de foco fixo para pasteurização solar da água**. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2018.

CERQUEIRA, Tiago Batista; OLIVEIRA, Eduardo José Alcício de; SILVA, Ronaldo Faustino da; DOMINGUES, Marco Antônio de Oliveira; LYRA, Marília Regina Costa Castro. Considerações sobre a qualidade de água pluvial armazenada em cisternas e sua desinfecção com energia solar. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 104-110, 30 mar. 2021. Associação Brasileira de Energia Solar. <http://dx.doi.org/10.59627/rbens.2019v10i2.284>.

CETESB. **Publicações e Relatórios – Águas Interiores**. 2022. Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 30 dez. 2023.

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. **Agenda 21**. Documento aprovado na Organização das Nações Unidas (ONU). Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 1992.

COHEN, Adam; PLATTS-MILLS, James; NAKAMURA, Tomoka; OPERARIO, Darwin; ANTONI, Sébastien; MWENDA, Janson; WELDEGEBRIEL, Goitom; REY-BENITO, Gloria; OLIVEIRA, Lucia; ORTIZ, Claudia; DANIELS, Danni; VIDEBAEK, Dovile; SINGH, Simarjit; NJAMBE, Emmanuel; SHARIFUZZAMAN, Mohamed; GRABOVAC, Varja; NYAMBAT, Batmunkh; LOGRONIO, Josephine; ARMAH, George; DENNIS, Francis; SEHERI, Mapaseka; MAGAGULA, Nokululeko; MPHABLELE, Jeffrey; FUMIAN, Tulio; MACIEL, Irene; LEITE, Jose Paulo Gagliard; ESONA, Matthew; BOWEN, Michael; SAMOILOVICH, Elena; SEMEIKO, Galina; ABRAHAM, Dilip; GIRI, Sidhartha; PRAHARAJ, Ira; KANG, Gagandeep; THOMAS, Sarah; BINES, Julie; LIU, Na; KYU, Hmwe; DOXEY, Matthew; MCQUADE, Elizabeth T Rogawski; MCMURRY, Timothy; LIU, Jie; HOUPPT, Eric; TATE, Jacqueline; PARASHAR, Umesh; SERHAN, Fatima. Aetiology and incidence of diarrhoea requiring hospitalisation in children under 5 years of age in 28 low-income and middle-income countries: findings from the Global Pediatric Diarrhea Surveillance network. **BMJ global health**, v. 7, n. 9, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-009548>

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. **Abastecimento de água**: Sistema de abastecimento. 2023. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 18 maio 2023.

CRESESB - Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica. **Potencial Solar**. 2023. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 1 jan. 2024.

DATASUS. **TABNET**. 2023. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 30 out. 2023.

DORNELLES, Carla Jeane L Helfemsteller Coelho; LINS, Ana Luiza Dias; DAMÁZIO, Marcela. Educação ambiental na perspectiva biocêntrica - valores frente à vida e efetivação da proteção ambiental: uma análise a partir da gestão de unidades de conservação. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 58-72, 1 jan. 2020. Revista Sergipana de Educacao Ambiental. <http://dx.doi.org/10.47401/revisea.v8i2.12844>.

FEACHEM, Richard G.; BRADLEY, David J.; GARELICK, Hemda; MARA, D. Duncan. **Sanitation and Disease: health aspects of excreta and wastewater management**. 3. ed. Washington: Wiley–Blackwell, 1983. 530 p.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, João; FEITOSA, Edilton Carneiro; DEMETRIO, J. Geilson A. **Hidrologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Cprm, 2008. 812 p.

FERNANDES, Cristiane do Nascimento; CAVALCANTE, Fernanda Lima; BATISTA, Rafael Oliveira (org.). **Desinfecção solar de efluentes sanitários**. Natal: Editora IFRN, 2019.

FERREIRA, Aldo; CUNHA, Cynara. Sustentabilidade ambiental da água consumida no Município do Rio de Janeiro, Brasil. **Rev Panam Salud Publica**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 93-99, 2005.

FERREIRA, José Gomes; GOMES, Matheus Fortunato Barbosa; DANTAS, Maria Wagna de Araújo. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil / Challenges and controversies of the new legal framework for basic sanitation in Brazil. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 7, p. 65449-65468, 2 jul. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n7-019>.

FIGUEIREDO, David Manuel Duarte. **Modelação do decaimento do cloro em sistemas de abastecimento de água**. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Técnico Lisboa, Lisboa, 2014.

FONSECA, André Lemos. **Determinação do índice de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal na água da lagoa de Extremoz/RN**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Química do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FRANCA, Raimunda Moreira da; FRISCHKORN, Horst; SANTOS, Manoel Roberval Pimentel; MENDONÇA, Luiz Alberto Ribeiro; BESERRA, Maria da Conceição. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 92-102, mar. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522006000100012>.

FREITAS, Marcelo Bessa; FREITAS, Carlos Mach Ado de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o sistema único de saúde. **Ciência e Saúde**

Coletiva, [S.L], v. 10, n. 4, p. 993-1004, 2005.

FORSYTHE, Stephen J. **Microbiologia da segurança dos alimentos**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 620 p.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (ed.). **Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado**. Brasília: Funasa, 2010. 246 p.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual Prático de Análise de Água. Fundação Nacional de Saúde. 4. ed. **Vigilância Ambiental em Saúde**. Brasília: editor, 2013.

GOMES, Edson Cássio Araujo. **Avaliação da qualidade da água em edificações multifamiliares na cidade de Campina Grande – PB**. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

GUDYNAS, Eduardo. **Direitos da Natureza: ética Biocêntrica e Políticas Ambientais**. São Paulo: Elefante, 2020. 340 p.

HARDIN, Garrett. The Tragedy of the Commons. **Science**, Washington, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, dez. 1968.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sao-lourenco-da-mata/panorama>. Acesso em: 07 de dez. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sao-lourenco-da-mata/panorama>. Acesso em: 18 de mai. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 19 de out. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sao-lourenco-da-mata/panorama>. Acesso em: 07 de dez. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais Técnicos em Geociências: manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 2012. 271 p.

INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Educação Básica: Sinopses Estatísticas da Educação Básica**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-basica>. Acesso em: 18 de mai. 2023.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE. 2017. 80p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil**. 2022. Elaborado por Fernando Garcia de Freitas e Ana Lelia Magnabosco. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Beneficios-economicos-do-saneamento-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

ISHAQ, Muhammad Saqib; AFSHEEN, Zobia; KHAN, Amjad; KHAN, Amjad. Disinfection Methods. **Photocatalysts - Applications And Attributes**, [S.L.], p. 3-19, 6 mar. 2019. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80999>.

KAMIOKA, Gabriela Akemi. **Norovírus: principal causa de gastroenterite epidêmica no município de São Paulo**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

LEMOS, Walter Gustavo da Silva; DAUD, Samira dos Santos. A busca pelo bem comum: uma análise do uso do meio ambiente a partir do pensamento de Aristóteles e Kant. **Revista Jusfaro**, Porto Velho, v. 2, n. 2, p. 1-24, jun. 2021.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed., Átomo: Campinas, São Paulo, 2010. 496 p.

LIMA, João Victor Figueredo; GONÇALVES, Pedro H. S. A. **A influência do ângulo de inclinação na incidência de radiação solar em painéis fotovoltaicos**. 2018. 172 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

LOPES, Frederico Wagner de Azevedo; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (Rbrh)**: análise dos estudos recentes sobre recursos hídricos e suas conexões com a geografia física, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 134-147, jul-dez. 2010.

LOPES NETO, M. A.; OSTI, J. V. de S.; ROCHA, B. da S.; MENDONÇA, L. P. de. Qualidade microbiológica de alimentos servidos em restaurantes universitários. **Científic@ Multidisciplinary Journal**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.37951/2358-260X.2021v8i2.5813>

LUCENA, Danyllo Vieira de. **Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural de Campina Grande - PB**. 2018. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

MAGALHÃES, Catarinne Francis Nunes; SANTOS, Raissa da Conceição; SILVA, Gabriela Cavalcante. Avaliação de marcadores higiênicos sanitários na água das instituições de educação infantil de cidade da microrregião do Pajeú-PE. **Brazilian Journal Of Health Review**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 847-856, 2020. Brazilian Journal of Health Review. <http://dx.doi.org/10.34119/bjhrv3n1-067>.

MARTIORI, Kassiéli; SILVA, Marlon Luiz Neves da. Análise da qualidade de água de poços

rasos no interior do município de Caxambu do Sul-Sc, um estudo de caso. **Revista de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 13-26, 2020.

MASTROPAULO, Audry de Almeida; RAZZOLINI, Maria Tereza Pepe. Qualidade da água de sistema alternativo coletivo de abastecimento para consumo humano: ocorrência de cistos de giardia e oocistos de cryptosporidium em poços de São Paulo – SP. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 237-246, 2018. Portal de Periodicos UFPB. <http://dx.doi.org/10.4034/rbcs.2018.22.03.07>.

MENDONÇA, Maria Helena Martins; ROSENO, Sthefany Angely Moraes; CACHOEIRA, Thayany Ruanny Leite; SILVA, Ákylla Fernanda Souza; JÁCOME, Paula Regina Luna de Araújo; JÁCOME JÚNIOR, Agenor Tavares. Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 468, 2 maio 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1934>.

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**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99-110, jan-mar. 1994.

MINISTÉRIO DO TURISMO. **Turismo será responsável por quase 8 milhões de empregos e 7,8% do PIB do Brasil em 2023, afirma WTTC**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/turismo/pt-br/assuntos/noticias/turismo-sera-responsavel-por-quase-8-milhoes-de-empregos-e-7-8-do-pib-do-brasil-em-2023-afirma-wttc#:~:text=DADOS-,Turismo%20ser%C3%A1%20respons%C3%A1vel%20por%20quase%208%20mil%C3%B5es%20de%20empregos%20e,Brasil%20em%202023%2C%20afirma%20WTTC&text=O%20ano%20de%202023%20dever%C3%A1,%20C8%25%20do%20PIB%20nacional>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MONTEIRO, Nathielen Isquierdo; PONTES, Thaís da Costa Abrão; WIENKE, Felipe Franz. Reflexões sobre a perspectiva da natureza como sujeito de direitos: contribuição para uma visão biocêntrica. In: CAOVIALLA, Maria Aparecida Lucca; RENK, Arlene (Orgs.) **Pluralismo Jurídico, Constitucionalismo Latino-Americano, Buen Vivir e os Direitos da Natureza**. III Congresso Internacional. v. 2, e-book, São Leopoldo: Karywa, 2018, p. 20-32.

MORAES, Maria Suiane de; MOREIRA, Diego Augusto da Silva; SANTOS, Jeffrey Tyrone de Lima Araújo; OLIVEIRA, Adolfo Pinheiro de; SALGADO, Raquel Lima. Avaliação microbiológica de fontes de água de escolas públicas e privadas da cidade de Santa Rita (PB). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 431-435, jun. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018159099>.

MUELLER, Mateus; TAINTER, Christopher. *Escherichia coli*. In: *Statpearls [internet]*. Ilha do Tesouro (FL): StatPearls Publishing, 2022. NASCIMENTO, Felipe Tiago do et al. Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, 2018.

NASCIMENTO, Felipe Tiago do; NASCIMENTO, Carlos Augusto do; SPILKI, Fernando Rosado; STAGGEMEIER, Rodrigo; LAUER JÚNIOR, Cláudio Marcos. Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. **Ambiente e**

Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1, 30 jul. 2018. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2084>.

NEVES, Maria Inês Branquinho da Costa. **Direito Internacional do Ambiente e Direitos da Natureza, dos discursos antropocêntricos a uma abordagem biocêntrica**. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Direito, Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2019.

NUGEM, Rita de Cassia; BORDIN, Ronaldo; PEDROZO, Eugenio Avila; ROSA, Roger dos Santos. Região das Ilhas: o Saneamento Básico e o Saneamento Ambiental. In: OLIVEIRA, Celmar Corrêa de; BINKOWSKI, Patrícia; ALBRECHT, Cristina Arthmar Mentz; SILVA, José Piethro Santos da. **Cidades e Sustentabilidade: Os Desafios para conciliar equilíbrio ecológico e bem-estar social**. Porto Alegre: Uergs, 2021. p. 1-211.

OGATA, Igor Souza. **Avaliação de risco da qualidade da água potável do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB)**. 2011. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

OGATA, Igor Souza; OLIVEIRA, Rui de; MEIRA, Celeide Maria Belmont Sabino; NASCIMENTO, Ruth Silveira do; HENRIQUES, Juscelino Alves. Avaliação de risco à saúde associada à qualidade da água para consumo humano em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, [S.L.], n. 40, p. 1-15, jun. 2016. Zeppelini Editorial e Comunicacao. <http://dx.doi.org/10.5327/z2176-947820160026>.

OLIVEIRA, Emanuely Kelly Gomes de; SILVA, Maria Nicole de Sousa; DOMBROSKI, Solange Aparecida Goularte; SÁ, Luana Carla Rodrigues de; BERGAMO, Genevile Carife. Qualidade da água para consumo humano: estudo no sistema de um campus universitário. **Revista Dae**, [S.L.], v. 71, n. 239, p. 157-173, 20 dez. 2022. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2023.012>.

OLIVEIRA, Erondir José Cabral de; TEOTÔNIO, Luiz Eduardo Oliveira; SOUSA JÚNIOR, Dárcio Luiz de; MARQUES, Ana Emília Fromiga. Análise físico-química e microbiológica da água de bebedouros de escolas municipais na cidade de Jardim – Ceará. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 1-13, jan-mar. 2019.

OLIVEIRA, Keila Castro; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; SILVA, Carolina Ventura da. Esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento de água? Um estudo exploratório. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 1103-1109, dez. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018151590>.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (org.). **Planeamento da segurança do saneamento**: manual para o uso e eliminação segura de águas residuais, águas cinzentas e dejetos. Portugal: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (Ersar), 2016. 160 p.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010**. Disponível em: <https://www.paho.org/en/documents/human-right-water-and-sanitation-resolution-adopted-general-assembly-ares64292#:~:text=%2F64%2F292%5D->

,The%20human%20right%20to%20water%20and%20sanitation%20%2D%20resolution%20a
 dopted%20by,%20FRES%20F64%20F292%5D&text=United%20Nations.,Assembly%20on%20
 28%20July%202010. Acesso em: 09 de jan. 2024.

PAINEL SANEAMENTO BRASIL. **São Lourenço da mata**. 2021. Disponível em:
<https://www.painelsaneamento.org.br/localidade?id=261370>. Acesso em: 18 maio 2023.

PASCHOALATO, Cristiana Filomêna Pereira Rosa. **Efeito da pré-oxidação, coagulação e pós cloração na formação de subprodutos orgânicos halogenados em águas contendo substâncias húmicas**. 2005. 291 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PEDROSA, Bruno Miguel Martins. **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial**. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, S.L, 2014.

PEQUENO, Lucas Alves Batista; SANTOS, Whelton Brito dos; BEZERRA, Daniel Epifânio; TORQUATO, Amanda Laurentino. O saneamento como mercadoria: Uma análise da Lei 14.026 e sua aplicabilidade no estado da Paraíba - Brasil. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], p. 594-613, 6 ago. 2023. Universidad Nacional Autónoma de Mexico. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.2.83274>.

PEREIRA, Dalva Muniz; SILVA, Doralice Limeira da; PEREIRA, Cecília Teresa Muniz; RODRIGUES, Andresa Basker Costa; CALVET, Rodrigo Maciel. Qualidade microbiológica da água em escolas de educação infantil localizadas em um município no Maranhão. **Ciências da Saúde e Bem-Estar: Olhares interdisciplinares**, v. 1, [S.L.], p. 254-266, 26 jun. 2023. Editora e-Publicar. <http://dx.doi.org/10.47402/ed.ep.c23116225265>.

PEREIRA, Edilene de Menezes; SILVA, Elisabete Azevedo da. Ambiente e saúde. *In*: GONDIM, Grácia Maria de Miranda; CHRISTÓFARO, Maria Auxiliadora Córdova; MIYASHIRO, Gladys Miyashiro (org.). **Técnico de vigilância em saúde: contexto e identidade**. Rio de Janeiro: Epsjv, 2017. p. 308.

PIEREZAN, Marcel Lanteri. **Monitoramento contínuo do residual do cloro em sistemas de distribuição de água para abastecimento**. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

PIVELI, Roque Passos. **Curso: “Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos”**: aula 6 características químicas das águas: ph, acidez, alcalinidade e dureza. AULA 6 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS ÁGUAS: pH, ACIDEZ, ALCALINIDADE E DUREZA. 2015. Disponível em:
http://www.ler.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%2010%20-%20Oxigenio%20Dissolvido%20e%20Materia_Organica.pdf. Acesso em: 21 dez. 2023.

PNUD BRASIL – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **As Perguntas Mais Frequentes sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2016. Disponível em: <https://www.estrategiaods.org.br/wp-content/uploads/2016/05/FAQ.pdf>.

Acesso em: 06 abr. 2022.

PNUD BRASIL - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** 2016. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 06 de abr. 2022.

PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **ABCON prevê 28 leilões de água e esgoto em 2022 e 2023.** 2022. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/esgoto/abcon-leiloes-agua-esgoto-2022-2023/>. Acesso em: 20 de out. 2023.

PORTAL TRATA BRASIL. **Brasil teve cerca de 130 mil internações por doenças associadas à falta de saneamento, em 2021.** 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/brasil-teve-cerca-de-130-mil-internacoes-por-doencas-associadas-a-falta-de-saneamento-em-2021/>. Acesso em: 01 out. 2023.

PORTAL TRATA BRASIL. **Comparado com anos anteriores, Brasil investe menos no setor de saneamento básico.** 2021. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/comparado-com-anos-anteriores-brasil-investe-menos-no-setor-de-saneamento-basico/>. Acesso em 20 de out. 2023.

PORTAL TRATA BRASIL. **Quase 35 mil jovens brasileiros foram internados por doenças de veiculação hídrica, aponta dados do DATASUS.** 2021. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/quase-35-mil-jovens-brasileiros-foram-internados-por-doencas-de-veiculacao-hidrica-aponta-dados-do-datasus/#:~:text=Quase%2035%20mil%20jovens%20brasileiros,dados%20do%20DATASUS%20%2D%20Trata%20Brasil>. Acesso em: 29 de out. 2023.

PORTES, Silvana Augusta Rodrigues. **Caracterização de vírus gastroentéricos em crianças com doença diarreica e coinfectadas ou não pelo vírus da imunodeficiência humana (hiv-1) hospitalizadas no Rio de Janeiro.** 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Medicina Tropical, Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2017.

ROCHA, Lucas. **A vez dos norovírus.** 2016. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/ioc/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=2593&sid=32&tpl=printerview>. Acesso em: 20 out. 2023.

RODRIGUES, Alesca Barbosa. **Avaliação de risco da qualidade da água de abastecimento de um hospital público regional de urgência e emergência.** 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

RODRIGUES, Danielle Gonçalves. **Desinfecção da água por pasteurização solar (sopas) em comunidades rurais.** 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

RODRIGUES, Danielle Gonçalves. **Sistema alternativo para desinfecção da água por pasteurização solar para pequenas comunidades.** 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

ROSEN, Barry H. **Nutrient Management Technical Note: introduction to waterborne pathogens in agricultural watersheds**. 9. ed. California: Usda - United States Department Of Agriculture, 2012. 90 p.

SAMPAIO, Flávia Barreto. **Análise microbiológica da água consumida por escolares em um município do interior da Bahia**. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Biomedicina, Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira, 2019.

SAMPAIO, Antônio Carlos Freire; SILVEIRA, Arnaldo Custódio da. Um estudo sobre a qualidade da água destinada ao consumo de alunos nas escolas públicas do município de Uberlândia/MG. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 22, n. 79, p. 180-198, 1 fev. 2021. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg227953967>.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.

SANT'ANNA, Annibal Parracho; PINTO JUNIOR, Roberto Paulo da Silva. Composição probabilística no cálculo das prioridades na FMEA. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 179-191, set-dez. 2010.

SANTOS, Whelton Brito dos. **Análise da eficiência da solução alternativa coletiva de tratamento de água (salta-z) para a potabilidade aplicada ao semiárido brasileiro**. 100 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

SCHERER, Gustavo Strieder. **Avaliação parasitológica, microbiológica e físico-química da água destinada ao consumo humano em um município de tríplice fronteira – Brasil, Paraguai e Argentina**. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública em Região de Fronteira, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2019.

SHUBO, Tatsuo. **Sustentabilidade do abastecimento e da qualidade da água potável urbana**. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área de Saúde Pública, Saneamento e Saúde Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, Ariane Hilgemberg. **Relação entre parâmetros de qualidade da água e a concentração de cloro residual livre em um setor de abastecimento de água em Ponta Grossa - PR**. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

SILVA, Gustavo Carielo da. **Pasteurizador solar para descontaminação microbiológica da água**. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SILVA, Gustavo Carielo da; TIBA, Chiguera; CALAZANS, Glícia Maria Torres. Solar pasteurizer for the microbiological decontamination of water. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 87, p. 711-719, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.012>.

SILVA, Katiane Gomes da; MELO, Adriana Mary Mestriner Felipe de. Controle microbiológico de linguagem artesanal. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 4-9, out-dez. 2021. Trimestral.

SILVA, Marcos Brito; SANTOS, Delfran Batista dos; SILVA, Gervásio Paulo da; BATISTA, Rafael Oliveira; SILVA, Samuel de Carvalho. Tratamento da água armazenada em cisternas utilizando radiação solar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 199-214, jan. 2013. Centro Científico Conhecer.

SILVA, Suse da; LUVIELMO, Marcia; GEYER, Mariana; PRA, Ivana. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 659-682, 12 jul. 2011. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p659>.

SILVEIRA, Thyago Nóbrega; BARBOSA, Maria Gabriella Negromonte; PEQUENO, Lucas Alves Batista; SANTOS, Whelton Brito dos; FERREIRA, Weruska Brasileiro. Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, S.L., v. 7, n. 1, p. 16-25, jan. 2019. <https://doi.org/10.9771/gesta.v7i1.28068>

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>. Acesso em: 29 de out. 2023.

SORRENTINO, Taciano Amaral; GARCIA, Gustavo Krause Viera; CARLOS, Antonio Lucas dos Santos; FERNANDES, Neemias Dantas. Otimização geométrica e automatização para um pasteurizador com concentrador cilíndrico-parabólico. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 8^o, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Cbens, 2020. p. 1-11.

SOUSA, Ana Cristina Augusto de. O que esperar do novo marco do saneamento? **Cadernos de Saúde Pública**, [S.L.], v. 36, n. 12, p. 1-4, 2020.

SOUSA, Karina Michely Leite de. **Estudo dos coagulantes naturais *cereus jamacaru*, *opuntia ficus-indica* e *pilosocereus gounellei* como pré-tratamento para desinfecção solar**. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2019.

SOUZA, Lucas de; ZEFERINO, Carolina Lopes dos Santos; SERBENT, Maria Pilar; GOETTEN, Willian Jucelio. Qualidade da água das escolas públicas de ensino fundamental de Ibirama (SC)/Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 4, p. 563-587, 2018. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e42018563-587>.

SOUZA, Otaviano Teodoro; FRADE, Paulo Ricardo; SOARES, Carolina Adélia da Silva Paim. Qualidade da água de poços tubulares em Iguatama, Minas Gerais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 637, 1 dez. 2018. Grupo

Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i5.6195>.

VARGAS, Juliano; HERSCOVICI, Alain. A Tragédia dos Commons Revisitada: uma análise crítica. **Análise Econômica**, Porto Alegre, v. 35, n. 67, p. 105-128, mar. 2017.

VERAS, Leonardo Deyvid Lima; SOARES, Leonardo William Ferreira; SILVA NETO, Mario Ribeiro da; RODRIGUES, Maryane Guimarães dos Santos; SILVA, Ana Cesarina Ferreira da; GALDINO, Matheus Rodrigo Lopes; PUREZA, Sarah Victoria Brito; MENDONÇA, Maria Helena Rodrigues de. Diarreia e gastroenterites de origem infecciosa presumível: análise do perfil epidemiológico nas regiões do Brasil no período de 2012 a 2020. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 1-15, 3 jun. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30295>.

VELOSO, Bárbara Silva. **Influência da temperatura e da turbidez na inativação de coliformes e colifagos no processo de desinfecção solar**. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VIANA, Marsani Josiani; SOUZA, Hilton Marcelo de Lima; CARVALHO, Ílio Fealho de; CARVALHO, Maurecilne Lemes da Silva. Qualidade bacteriológica de amostras de água em escolas públicas do município de Tangará da Serra, Mato Grosso. **Holos**, [S.L.], v. 6, p. 74-81, 3 dez. 2018. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2018.5124>.

VICENTE, Gustavo Zitei; LIMA, César Gustavo Rocha; MARQUES, Sâmia Momesso. Variabilidade espacial e temporal do Nitrato e Cloreto no Sistema Aquífero Bauru, estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 295-306, 13 ago. 2018. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29099>.

VILA NOVA, Fátima Verônica Pereira; TENÓRIO, Nicole Bezerra. Doenças de veiculação hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, município de Caruaru - PE. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 20, n. 71, p. 250-264, set. 2019.

WAN, Qiqi; XIA, Yuancheng; LI, Yangfan; WU, Gehui; WANG, Jingyi; HUANG, Tinglin; WEN, Gang. Enhanced solar inactivation of fungal spores by addition of low-dose chlorine: efficiency and mechanism. **Water Research**, [S.L.], v. 222, p. 118964, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2022.118964>.

WANG, Wendong; LI, Hua; DING, Zhenzhen; WANG, Xiaochang. Effects of advanced oxidation pretreatment on residual aluminum control in high humic acid water purification. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 23, n. 7, p. 1079-1085, jul. 2011. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742\(10\)60520-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742(10)60520-7).

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISCHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. Solar water disinfection: Scope of the process and analysis of radiation experiments. **Journal Of Water Supply: Research And Technology - Aqua**, Zurich, v. 43, n. 3, p. 154-169, jan. 1994.

WHO. **WHO International Scheme to Evaluate Household Water Treatment**

Technologies: jamebi solar water pasteurizer. JAMEBI Solar Water Pasteurizer. 2018. Disponível em: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/regnet/products/whoscheme_r2_productreport_jamebi.pdf?sfvrsn=152f4fc_5. Acesso em: 02 jan. 2024.

YAMAMOTO, Érica Aline Ferreira Silva; PEREIRA, José Roberto; ALCÂNTARA, Valderi de Castro. Remunicipalização e coprodução do bem público: perspectivas de gestão dos serviços de água e saneamento. **Cadernos Gestão Pública e Cidadania**, [S.L.], v. 25, n. 81, p. 1-20, 1 maio 2020. Fundação Getúlio Vargas. <http://dx.doi.org/10.12660/cgpc.v25n81.80080>.

ZAMBRANO, Tatiane Fernandes; MARTINS, Manoel Fernando. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 295-309, maio-ago 2007

