

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Elisabeth Maria Accioly Laranjeira

**Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM)  
associado à *E. coli* em efluente tratado em uma unidade de ensino  
localizada em Salvador- BA**

Orientadora: Professora Doutora Daniele Vital Vich

Coorientadora: Professora Doutora Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Maceió

2022

Elisabeth Maria Accioly Laranjeira

**Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM)  
associado à *E. coli* em efluente tratado em uma unidade de ensino  
localizada em Salvador- BA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária como requisito  
parcial para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental e  
Sanitária

Maceió

2022

**Catálogo na Fonte Universidade  
Federal de Alagoas Biblioteca Central  
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L318a Laranjeira, Elisabeth Maria Accioly.  
Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) associado à *E. coli*  
em efluente tratado em uma unidade de ensino localizada em Salvador-BA /  
Elisabeth Maria Accioly Laranjeira. – Maceió, 2022.  
67 f. : il., grafs. e tabs. color.

Orientadora: Daniele Vital Vich.

Coorientadora: Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental e  
Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió,  
2022.

Bibliografia: f. 61-67.

1. Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico. 2. *Escherichia coli*. 3.  
Estações de tratamento de águas residuárias. 4. Uso de águas residuárias. I. Título.

CDU: 628.3

## RESUMO

O Brasil apresenta grande potencial hídrico, mas o acesso às reservas de água não está disponível para toda a população. Juntamente a isso, tem-se a utilização em grande escala dos recursos hídricos, tornando-os escassos. Como uma alternativa que poupe e preserve esse recurso, tem-se o reúso de águas residuárias. Porém, alguns cuidados devem ser levados em consideração, principalmente relacionados à segurança da saúde. Este trabalho teve como objetivo a avaliação dos riscos microbiológicos associados à saúde humana, a partir do reúso do efluente de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) descentralizada, de uma escola da cidade de Salvador (BA). Foi utilizada a ferramenta Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) para estimar o risco de infecção causada pela bactéria *Escherichia coli* e os seus Valores Máximos Permitidos (VMP's), em função do risco aceitável estabelecido pela OMS (Organização Mundial da Saúde) de  $10^{-3}$  por pessoa por ano (pppa). Além disso, foi avaliada a necessidade e a eficiência da cloração no efluente tratado. Para isso, foi estimada a quantidade de patógenos ingeridos por rota de exposição e calculou-se as probabilidades de infecção no período de um ano, de acordo com as modalidades de reúso interessantes para a escola (irrigação de jardim, descarga de vaso sanitário e lavagem de piso). Depois disso, foi realizado o caminho inverso e foram obtidos os VMP's de *E. coli*. Os resultados foram comparados com os parâmetros especificados em normas e diretrizes nacionais acerca do reúso e constatou-se que o sistema experimental não apresentou eficiência suficiente para atender as atividades de reúso avaliadas (sem a desinfecção), de modo que nenhuma atividade se mostrou adequada para o reúso imediato, sendo necessário o pós-tratamento por cloração. Em todos os casos, a eficiência mínima exigida para a reutilização de águas residuais foi superior a 97% e chegou a atingir 100% nas três modalidades estudadas. Depois do pós-tratamento, foi verificado que para a dosagem de 15 mg/L de cloro, os parâmetros continuaram não apresentando eficiências suficientes para o reúso imediato. Para 20 mg/L alguns parâmetros se enquadraram no permitido e para 25 mg/L e 30mg/L de cloro, todos os parâmetros se enquadraram, sendo um tratamento adicional eficiente quando aplicado em dosagens corretas. As normas/diretrizes nacionais se mostraram rígidas de forma geral, de modo que a os VMP's não se enquadraram nas mesmas, sendo o ideal formular um instrumento legal em nível nacional para padronizar os valores de referência para reutilização das águas e não inviabilizar o reúso de efluentes.

**Palavras-chaves:** AQRM, *Escherichia coli*, ETE compacta, reúso de efluente.

## ABSTRACT

Brazil has a great hydric potential, but the access to water reserves is not available to the entire population. In addition to this, there is the large-scale use of water resources, making them scarce. As an alternative that saves and preserves this resource, there is the reuse of wastewater. However, some precautions must be considered, related to health safety. This study aimed to evaluate the microbiological risks associated with human health, from the reuse of effluent from a decentralized wastewater treatment plant (WWTP), from a school located in the city of Salvador (BA). The Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA) tool was used to estimate the risk of infection caused by *Escherichia coli* and its Maximum Allowable Values (MAV's), depending on the acceptable risk established by the WHO (World Health Organization) of  $10^{-3}$  per person per year (pppy). In addition, the need and efficiency of an additional treatment with chlorine in the treated effluent was evaluated. For this, the number of ingested pathogens per exposure route was estimated and the probabilities of infection were calculated over a period of one year, according to the reuse modalities interesting for the school (garden irrigation, toilet flushing and washing floor). After that, the reverse path was performed, and the *E. coli* MAVs were obtained. The results were compared with the parameters specified in national norms and guidelines about reuse and it was found that the experimental system did not present sufficient efficiency to meet the reuse activities evaluated, so that no activity proved to be suitable for immediate reuse, being the chlorine post-treatment required. In all cases, the minimum efficiency required for the reuse of wastewater was above 97% and reached 100% in the three studied modalities. After the post-treatment, it was verified that with 15 mg/L of chlorine, the parameters continued not showing sufficient efficiencies for immediate reuse. For 20 mg/L, some parameters were within the allowed range and for 25 mg/L and 30mg/L of chlorine, all parameters were within, being an efficient additional treatment when applied in correct dosages. The national norms/guidelines proved to be rigid in general, so that the MAVs did not fit them, being the ideal to formulate a legal instrument at the national level to standardize the reference values for the reuse of wastewater and not make the reuse of wastewater unfeasible.

**Keywords:** QMRA, *Escherichia coli*, small WWTP, wastewater reuse.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2 - Localização da ETE.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3 - Etapas de tratamento do efluente.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4 - Equipamento jarro de teste.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 5 - Valores de coliformes totais e <i>E.coli</i> para diferentes concentrações de cloro .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 6 - Resultados de cloro residual para diferentes concentrações de cloro....</b>	<b>56</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Doenças relacionadas às águas contaminadas.....</b>	<b>26</b>
<b>Quadro 2 - Vias de exposição conforme a utilização de águas residuárias tratadas</b> <b>.....</b>	<b>27</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dosagens típicas de cloro em ETE descentralizadas .....	21
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade para uso da água não potável em nível estadual.....	24
Tabela 3 - Parâmetros de qualidade para uso da água não potável em nível federal .....	25
Tabela 4 - Concentrações de Coliformes Totais (CT) e E. coli no efluente secundário .....	34
Tabela 5 - Distribuição da exposição relacionada à água de reúso.....	35
Tabela 6 - VMP's para irrigação de jardim e eficiências mínimas requeridas .....	42
Tabela 7 - VPMs para descarga de vaso sanitário eficiências mínimas requeridas .....	44
Tabela 8 - VMP's para lavagem de pisos e eficiências mínimas requeridas .....	46
Tabela 9 - AQRM para irrigação de jardim com concentração de cloro a 15mg/L	49
Tabela 10 - AQRM para irrigação de jardim com concentração de cloro a 20mg/L .....	50
Tabela 11 - AQRM para descarga de vaso sanitário com concentração de cloro a 15mg/L.....	52
Tabela 12 - AQRM para descarga de vaso sanitário com concentração de cloro a 20mg/L.....	52
Tabela 13 - AQRM para lavagem de piso com concentração de cloro a 15mg/L...	54
Tabela 14 - AQRM para lavagem de piso com concentração de cloro a 20 mg/L..	55
Tabela 15 - Comparação dos VMP's obtidos com as normas e diretrizes nacionais e estaduais .....	58

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

AQRM – Análise Quantitativa de Risco Microbiológico

AVEC – Análise de Viabilidade Econômica

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CTEC – Centro de Tecnologia

EIEC – *E. coli* Enteroinvasiva

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número Mais Provável

OMS – Organização Mundial de Saúde

pppa – por pessoa por ano

RENTED – Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UFC – Unidades Formadoras de Colônias

VMP's – Valores Máximos Permitidos

WHO – *World Health Organization*

## AGRACIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, sem Ele nada seria possível. Muito obrigada senhor por ter me sustentado e me guiado por toda a graduação, me dando forças para superar as dificuldades e obstáculos da vida.

Aos meus pais que são minha fortaleza. Muito obrigada por toda dedicação, amor incondicional e renúncia para que eu chegasse até aqui. Por terem acreditado em mim, me dado apoio e conselhos ao longo desses anos. Amo vocês.

A minha avó Marilde, por seu zelo à família, sempre preocupada e fazendo de tudo pelo bem de todos nós. Ao meu avô Eduardo (*in memoriam*), por ser o meu maior exemplo de perseverança, fraternidade e honestidade. Obrigada vô por todo carinho demonstrado, saudades eternas.

Ao meu namorado Alexandre, por termos começado e terminado a graduação juntos, vivendo todos os desafios sempre nos ajudando e apoiando. Obrigada por ser meu companheiro antes mesmo de ingressarmos na UFAL.

À minha família e amigos, obrigada por todos os momentos de descontração e alegria, além das ajudas, conselhos e desabafos ao longo de toda a minha vida e graduação.

Aos amigos que fiz na UFAL, seja da graduação, do voleibol UFAL, da PROTEQ, da atlética Fúria e outras atléticas, muito obrigada por todo companheirismo, estudo, apoio, reuniões, viagens e festas. Em especial os da minha turma: Alexandre, Ana Letícia, Fernanda, Heloize, Lucas e Matheus, que tornaram tudo mais leve nos momentos de dificuldade.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária (CAEAMB), obrigada por terem me ajudado a melhorar como pessoa, na timidez e relação interpessoal, além de todos os momentos de aprendizado e divertimento.

À minha orientadora Daniele Vich e coorientadora Ivete Vasconcelos, muito obrigada por toda paciência, ensinamentos e direcionamento ao longo da elaboração do trabalho.

E por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente, que acreditaram e torceram para que eu conseguisse alcançar meus objetivos, meu muitíssimo obrigada!

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Geral .....	15
2.2. Específicos .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1. Sistemas Descentralizados .....	16
3.2. Reúso das águas em sistemas descentralizadas .....	18
3.3. Desinfecção de efluentes .....	19
3.3.1. Cloro como agente químico desinfetante .....	20
3.4. Legislação sobre o reúso .....	21
3.5. Riscos microbiológicos durante o reúso .....	25
3.6. Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) .....	27
3.7. <i>E. coli</i> .....	29
4. METODOLOGIA .....	31
4.1. Sistema experimental e caracterização microbiológica de efluente .....	31
4.2. Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico – AQRM .....	34
4.2.1. Identificação e caracterização do perigo .....	34
4.2.2. Avaliação de exposição .....	35
4.2.3. Análise dose-resposta .....	36
4.2.4. Caracterização dos riscos .....	37
4.3. Determinação dos Valores Máximos Permitidos (VMP) para <i>E. coli</i> .....	37
4.3.1. Probabilidade de infecção para exposição única .....	37
4.3.2. Dose ingerida .....	38
4.3.3. Concentração máxima de <i>E. coli</i> .....	38
4.4. Avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente por cloração e eficiência requerida .....	39

4.4.1. Comparação dos VMP's obtidos com as normas e diretrizes nacionais e estaduais .....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	40
5.1. Determinação dos riscos de infecção anual, VMP's para <i>E. coli</i> na água de reúso e avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente e respectiva eficiência	40
5.2. Pós-tratamento por cloração .....	47
5.3. Comparação dos VMP's obtidos com as normas e diretrizes nacionais ..	57
6. CONCLUSÕES .....	59
7. REFERÊNCIAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental à vida humana e ao meio ambiente, apresenta grande volume no planeta e é provida de valor econômico e social. Entretanto, sua distribuição é irregular e somente uma pequena parte está disponível para consumo. A disponibilidade de água está diretamente relacionada ao crescimento da população humana, grau de urbanização e seus usos, muitos vinculados à sua essencial importância em atividades associadas à economia. Porém, devido ao aumento da população, à atividade industrial e aos usos excessivos, que se intensificam ao passar dos anos, a demanda por água doce aumentou e promoveu a degradação e esgotamento de mananciais, comprometendo a qualidade de água disponível.

No Brasil, embora o país apresente grande potencial hídrico, o acesso às reservas de água não está disponível para toda a população. As maiores reservas de água doce do país estão presentes nas regiões de menor densidade populacional (MENDONÇA, 2004). Além disso, com o agravamento da escassez hídrica em virtude das atividades humanas, são feitos investimentos em tecnologias que diminuam a demanda de uso dos recursos hídricos, dentre elas o uso das águas das chuvas e reúso de efluentes de estações tratamento de esgoto. Nesse contexto, o reúso de águas residuárias apresenta grande aplicabilidade, tanto no meio urbano quanto no meio rural, com possibilidade de benefícios ambientais. Entretanto, alguns cuidados devem ser levados em consideração, principalmente relacionados à periculosidade para a saúde humana.

Historicamente, a evolução do setor de saneamento juntamente com o conhecimento científico e tecnológico, tem auxiliado na melhoria da saúde humana. Não basta tratar o efluente e despejá-lo no meio ambiente, pois se faz necessário pensar o saneamento de forma mais integrada e abrangente. Para isso, já existem ferramentas que consideram a sustentabilidade ambiental e social, além da viabilidade econômica. A Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados (RENTED) estabeleceu, para a avaliação de sustentabilidade, as ferramentas Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Análise de Viabilidade Econômica (AVEC) e Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), as quais ajudam na proposição de indicadores de sustentabilidade (PAULO *et al.*, 2019).

A Análise Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) é a ferramenta de interesse para o presente estudo, pois estabelece conhecimento científico sobre um microrganismo, rotas de exposição e efeitos à saúde. Tem como objetivo estimar os

efeitos à saúde humana decorrentes da exposição a microrganismos infecciosos em diferentes cenários (HAAS *et al.*, 2014). Esse método é bastante útil para determinar padrões microbiológicos nas águas de reúso, baseados nos riscos ao desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica.

Por meio desta ferramenta, é possível conhecer os perigos e as medidas de segurança que podem ser tomadas baseadas nas diretrizes que ditam o uso seguro de águas de reúso, visto que, os efluentes apresentam particularidades bastante variáveis. Com o desenvolvimento dos estudos de riscos envolvidos nas atividades planejadas é possível estimar os valores máximos de concentração de microrganismos e qual o nível de tratamento indicado, de modo que o efluente possa ser reutilizado com segurança (ALVES, 2018).

Com base no exposto, o presente estudo teve por objetivo avaliar e estimar os riscos microbiológicos associados ao reúso de efluente proveniente do sistema de tratamento descentralizado de efluentes sanitários de uma dada escola. A avaliação foi realizada utilizando a ferramenta de AQRM relacionada à *E. coli*. Ressalta-se que a realização deste TCC dá continuidade a uma linha de pesquisa presente no CTEC/UFAL: a AQRM na avaliação dos riscos associados ao reúso de águas cinzas (ALVES, 2018; FERREIRA *et al.*, 2018) e no reúso de efluentes de estações de tratamento de esgotos descentralizadas (SANTOS, 2019; SILVA, 2020).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar e estimar os riscos microbiológicos, a partir de dados secundários, associados ao reúso do efluente proveniente de um sistema de tratamento de efluentes sanitários de uma escola na cidade de Salvador, Bahia.

### **2.2. Específicos**

- Utilizar a ferramenta de Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) relacionada à *E. coli* para estimar o risco quantitativo de infecção em relação ao reúso do efluente para atividades urbanas não-potáveis;
- Indicar os Valores Máximos Permitidos (VMP) para *E. coli*, em função da finalidade de reúso do efluente em questão, com base nos conceitos da Organização Mundial da Saúde (OMS) de risco aceitável para doenças diarreicas;
- Avaliar a necessidade e eficiência de um pós-tratamento por cloração com base nos conceitos da OMS de risco aceitável para doenças diarreicas;
- Comparar os resultados de VMP com as legislações e diretrizes nacionais.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Sistemas Descentralizados

A descentralização e a universalização de tarefas básicas de moradia e saneamento vêm sendo defendidas como formas de desenvolvimento e avanço da qualidade de vida, requeridas por movimentos sociais e organizados. Assim, supõe-se que essa descentralização possa servir como um método para solucionar a grande deficiência habitacional e de saneamento básico, desde que juntamente auxiliada de parâmetros para gerar a modernização das políticas e gestão públicas no setor (KATO *et al.*, 2019).

Segundo Crites (1998), o sistema descentralizado é a coleta, o tratamento e a disposição final de águas residuárias de residências individuais, grupos de residências, comunidades isoladas, indústrias, ou estabelecimentos institucionais, bem como partes de comunidades presentes próximas do ponto de geração dos resíduos.

Também chamados sistemas individuais ou estáticos, os sistemas descentralizados presumem a solução para os efluentes no local, sendo geralmente utilizados para atendimento unifamiliar, mas que também podem atender a uma certa quantidade de residências próximas (VON SPERLING, 2005).

No contexto urbano de certos países, a centralização pode ser a resposta para o tratamento de efluente, mas o lado descentralizado do esgotamento sanitário tem sido progressivamente certificado mundialmente e aceito tanto pela comunidade acadêmica quanto por órgãos reguladores (SILVA, 2014).

Libralato *et al.* (2012) elaborou uma lista relacionando algumas vantagens e desvantagens, tanto do sistema centralizado como do descentralizado. Essa lista serve como fundamento para constatar as melhorias da implantação de sistemas de esgotamento descentralizado em inúmeras situações.

Algumas das vantagens, segundo os autores, dos sistemas centralizados sobre os descentralizados são: (1) ideal para amplos centros urbanos com grande densidade populacional; (2) controle facilitado por ser centralizado; (3) o custo ainda é competitivo com os de sistemas descentralizados, caso já exista sistema de coleta; (4) potencial economia unitária em áreas de grande densidade populacional, já que 80 a 90% dos custos são oriundos da coleta.

Já as vantagens dos sistemas descentralizados sobre os centralizados são: (1) ideal em comunidades rurais, áreas suburbanas, industriais, comerciais ou residenciais; (2) contribui para o planejamento de desenvolvimento de cidades isoladas; (3) é mais

suscetível à valorização do efluente tratado; (4) é aplicável a vários níveis de contribuintes, desde residências unifamiliares a pequenas comunidades; (5) pode permitir separação de urina e possível valorização; (6) as valorizações de efluente e de lodo proporcionam um tratamento ambientalmente sustentável; (7) estações descentralizadas são geralmente compactas, com condições de operação bastante flexíveis e reduzido impacto paisagístico; (8) menor chance de se ocorrer eutrofização no corpo receptor de sistemas descentralizados, devido ao grande volume despejado; (9) menor risco de haver infiltração de água de chuva ou vazamento de contaminantes (LIBRALATO *et al.*, 2012).

Sendo assim, sistemas descentralizados estão normalmente relacionados a sistemas alternativos com despesas de implantação e operação reduzidas, menor porte e tratamento de efluente no próprio espaço da comunidade servida. Geralmente, as redes coletoras têm dimensão mais curta e o tratamento é sintetizado. Com isso, os sistemas descentralizados são escolha prioritária, no caso de regiões metropolitanas, para atender zonas periféricas, habitações subnormais, vilas e conjuntos habitacionais distantes e áreas de baixa renda, ou seja, sistemas isolados, não interligados aos sistemas centralizados de maior porte (KATO *et al.*, 2019).

No passado, o tratamento era com a utilização de tecnologias sintetizadas, como lagoas de estabilização, tanques sépticos, tanques Imhoff, tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios e valos de oxidação (VASCONCELOS, 1995 *apud* KATO *et al.*, 2019). Antigamente essas tecnologias foram erradamente relacionadas a desempenho pequeno ou insatisfatório, quando o que geralmente ocorria, e ocorre ainda hoje, mesmo para sistemas centralizados, era a ausência ou a inadequação operacional e de manutenção. O importante não é se as tecnologias de tratamento são convencionais, clássicas ou novas, mas sim se são apropriadas à situação e se sua operação e manutenção não são menosprezadas a segundo plano, e se não há atividade irregular dos sistemas, inoperância e paralisação (KATO *et al.*, 2019).

Com isso, deve-se procurar o reúso e reaproveitamento apropriados dos produtos do tratamento e todo o sistema de efluentes deverá ter ligação com as outras atividades de saneamento básico (água, resíduos sólidos e drenagem). Além do mais, é fundamental estimular o desenvolvimento da educação sanitária e ambiental dos usuários (KATO *et al.*, 2019).

### **3.2. Reúso das águas em sistemas descentralizadas**

O reúso vem conquistando espaço em países desenvolvidos, mesmo naqueles em que a água ainda não é um recurso insuficiente, pois faz parte da formação de uma nova consciência de que esse ato preserva o meio ambiente, diminuindo impactos ambientais (METCALF& EDDY, 2003).

Quando no sistema descentralizado de esgotos almeja-se abranger algum tipo de reúso de água, os efluentes tratados deverão respeitar os padrões de reúso de água fixados em normas e legislação. Nesse caso, é preciso distinguir quando o reúso de água é realizado em sistemas segregados e não-segregados, isto é, se o projeto analisa ou não a separação do efluente em águas negras e outras águas, como as cinzas e amarelas (SOUZA *et al.*, 2019).

O reúso de água não potável tem várias finalidades associadas com sua qualidade. Na maior parte dos casos, a água de reúso pode substituir a água potável, no entanto os riscos sanitários e de saúde pública resultantes do uso das águas residuais são diversos, sendo preciso a implantação de parâmetros e padrões de qualidade para água de reúso (CUNHA, 2008).

Do mesmo jeito que para os padrões de lançamento direto em corpos receptores e padrões para disposição de águas residuárias no solo, os órgãos ambientais locais estão analisando e levantando padrões de qualidade de efluentes tratados para a aplicação em reúso não potável, legalizando, assim, mais um recurso significativo na gestão de recursos hídricos. Apesar disso, ainda não existe uma legislação em nível federal que oriente a instituição das legislações estaduais e ou municipais sobre padrões de reúso de águas a partir de efluentes sanitários tratados (SOUZA *et al.*, 2019).

Por outro lado, existe a apreensão de pesquisadores brasileiros no tema, de que o uso de parâmetros e padrões muito rígidos poderia impossibilitar a aplicação de vários processos de tratamento de efluentes simples e de baixo custo, grandemente aplicados no Brasil, sem ampliar de forma relevante a segurança do procedimento de reúso de água. Se forem adotados padrões mais restritivos, mesmo que em termos de teor de sólidos na água, que não tem relação direta com risco microbiológico, o próprio reúso de água a partir de sistemas descentralizados de efluentes poderá ficar inviabilizado no país (SOUZA *et al.*, 2019).

Mas, o reúso para fins não potáveis engloba riscos menores. Conforme a sua aplicação necessita-se de cuidados especiais que certifiquem o controle da saúde pública, sobretudo quando a prática abrange contato direto com o usuário: irrigação de

gramados, de parques, de jardins, lavagem de ruas, reserva de proteção contra incêndio, sistemas decorativos, descargas sanitárias e lavagens de trens e ônibus públicos (HESPANHOL, 1997).

A utilização do reúso ainda apresenta muito preconceito por parte dos usuários, pela carência de informação sobre a segurança do tratamento implementado, sua efetividade e conhecimentos técnicos por parte dos órgãos públicos de tomada de decisão, ocasionando a não aplicação dessa prática nos sistemas de abastecimento. Segundo Cohim *et al.* (2007), a objeção ao reúso por parte dos usuários está ligada em geral, ao resultado visual da água. Por isso, conforme o tipo de reúso impõe-se um grau de transparência, ausência de cor, odor, espuma, ou qualquer outra substância (SINDUSCON, 2005). Já por parte dos órgãos de tomada de decisão, a ausência de conhecimentos de técnicas de implementação, problemas econômicos e incapacidade de entendimento sobre as vantagens do reúso de água são os principais aspectos da não utilização da prática (MAY, 2009).

Então, para dar estímulo e incentivar a aplicação de sistemas de reúso de águas é fundamental a caracterização qualitativa dos efluentes (MAY, 2009). Esses dados são indispensáveis para a tomada de precauções para que não haja o risco de contaminação a pessoas ou produtos (SINDUSCON, 2005).

### **3.3. Desinfecção de efluentes**

O efluente sanitário é uma complexa matriz de poluentes ou componentes, destacando-se os sólidos grosseiros, geralmente removidos no tratamento preliminar antes do processo biológico, matéria orgânica e nutrientes, geralmente removidos no processo biológico, e microrganismos patogênicos, removidos parcialmente nas diferentes unidades de tratamento ou numa etapa de desinfecção, ao final do sistema de tratamento.

Devido às limitações inerentes aos sistemas anaeróbios, torna-se relevante a realização de uma etapa de pós-tratamento (desinfecção) dos efluentes produzidos nos reatores anaeróbios, com o objetivo de melhorar a qualidade microbiológica dos efluentes e da qualidade em termos de matéria orgânica e nutrientes (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

“A desinfecção consiste em um processo de purificação por meio do emprego de um agente físico, químico ou biológico buscando a inativação dos microrganismos patogênicos como bactérias, protozoários e vírus” (SIMÃO, 2013). A desinfecção dos efluentes das ETE no Brasil visa reduzir os coliformes totais e os coliformes fecais

(indicadores de contaminação fecal humana) (PIANOWSK; JANISSEK, 2003) para atingir níveis que atendam aos índices estabelecidos pelos órgãos de proteção ambiental.

O tratamento com desinfecção é considerado obrigatório, principalmente no que se refere ao reaproveitamento, pois o principal objetivo das técnicas no tratamento preliminar e primário é a remoção de matéria orgânica, que é pouco eficiente na remoção de organismos patogênicos. Níveis de tratamento, padrões de segurança adotados, operação, manutenção do sistema e outros aspectos são definidos em termos da qualidade da água necessária para o reúso previsto (CUNHA, 2008).

A escolha de um sistema de desinfecção deve considerar as características físico-químicas do efluente, a concentração de microrganismos patogênicos, a eficácia do desinfetante, o volume a ser tratado, o nível de tratamento antes da desinfecção, a formação de subprodutos indesejáveis, a segurança ocupacional, os resíduos persistentes etc. (TONON, 2007). Segundo Tonon (2007), a desinfecção pode ser realizada basicamente de duas formas, dependendo da natureza do desinfetante: (i) agentes químicos como cloro, dióxido de cloro e ozônio; (ii) fatores físicos, como calor e radiação ultravioleta.

### **3.3.1. Cloro como agente químico desinfetante**

Atualmente, o método mais utilizado no processo de desinfecção de efluentes em todo o mundo, é a cloração, que se deve à produção, custo, armazenamento, transporte e facilidade de aplicação (DANIEL; SILVA, 2015).

O cloro tem muitas vantagens que contribuem para sua ampla gama de aplicações no saneamento, como a inativação efetiva de múltiplos patógenos, tempo de desinfecção prolongado e fácil medição e controle de resíduos na água e um histórico de bom uso (SANTOS, 2014). Geralmente é aplicado na forma de cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio, e outros compostos na forma líquida ou sólida (FERREIRA FILHO, 2017). O cloro pode ser encontrado comercialmente nas formas gasosa ( $Cl_2$ ), líquida (hipoclorito de sódio) e sólida (hipoclorito de cálcio) para a desinfecção de águas residuais (TONON, 2007).

O cloro na forma de hipoclorito é geralmente usado em instalações menores, enquanto o cloro gasoso é usado em estações maiores. O dióxido de cloro ajuda a reduzir o risco de compostos organoclorados, mas não é economicamente viável para ETE descentralizadas (SANTOS *et al.*, 2019). Para sistemas simples e pequenos, o hipoclorito de sódio ( $NaOCl$ ) é o produto mais adequado devido a sua facilidade de aplicação, manuseio, armazenamento e baixo custo associado (GONÇALVES, 2003).

Santos *et al.* (2019) apontam que o efeito desinfetante do cloro se deve principalmente ao mecanismo de oxidação do material celular. Quando os compostos de cloro são adicionados à água, eles reagem para formar ácido hipocloroso (HOCl), que se dissocia em íons  $\text{OCl}^-$  e  $\text{H}^+$ . A quantidade de HClO e  $\text{OCl}^-$  é chamada de cloro residual livre. O cloro também reage com a matéria orgânica presente no efluente para formar compostos organoclorados e cloraminas, que são chamados de cloro residual combinado (FERREIRA FILHO, 2017).

O cloro residual livre está relacionado ao cloro com capacidade de agir como oxidante e desinfetante e que se encontra na água após determinado tempo da sua aplicação (HANDA, 2012). Segundo a ABNT NBR 16.783/2019, a concentração de cloro residual não pode ser inferior a 0,5 mg/L e não pode ultrapassar 5,0 mg/L. Recomendam que a concentração de cloro residual livre esteja entre 0,5 mg/L e 2,0 mg/L.

As dosagens típicas de cloro usadas em ETE descentralizadas são exibidas na Tabela 1:

**Tabela 1 - Dosagens típicas de cloro em ETE descentralizadas**

<b>Tipo de efluente</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>
Após filtração biológica	5-10
Após sistema de lodo ativado	5-10
Após filtração terciária	1-5
<b>Após reator UASB</b>	<b>15-20</b>

Fonte: Adaptado de SANTOS *et al.*, 2019.

### **3.4. Legislação sobre o reúso**

Quando se deseja incluir alguma forma de reúso de água em um sistema de tratamento de esgoto descentralizado, o efluente tratado deve atender aos padrões de reúso de água especificados em normas e diretrizes.

Pode-se mencionar em nível federal, a Resolução CNRH nº 54 de 28 de novembro de 2005, que determina as diretrizes e critérios “gerais” para a prática do reúso direto não potável de água. Ela não estabelece padrões e nem entra em detalhes, mas informa a necessidade do reúso e estimula a sua prática. No seu Artigo 3º, diz que as modalidades de reúso de água direto não potável são as seguintes (KATO *et al.*, 2019):

- Fins urbanos (irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio em ambiente urbano);
- Fins agrícolas e florestais (produção agrícola e cultivo de florestas plantadas);
- Fins ambientais (reúso de água para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente);
- Fins industriais (processos, atividades e operações industriais);
- E reúso na aquicultura (criação de animais aquáticos e cultivo de plantas aquáticas).

Além disso, a Resolução CNRH nº 121/2010, em seu Artigo 5º, determina que a “aplicação de água de reúso não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e para a saúde pública”. No seu Artigo 6º, que “as concentrações recomendadas de elementos e substâncias químicas no solo são os valores de prevenção que constam da legislação pertinente” (KATO *et al.*, 2019).

Em nível estadual, alguns estados brasileiros já possuem legislação sobre reúso de efluentes, com padrões microbiológicos, como os estados do Ceará (norma do COEMA/CE nº 2/2017), Minas Gerais (Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020) e São Paulo (Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01, de 13 de fevereiro de 2020) (Tabela 2):

Resolução COEMA nº 2/2017 (CE): dispõe sobre padrões e condições para lançamentos de efluentes líquidos gerados por fontes. No art.2º estabelece diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso não potável de água para o Estado do Ceará, de acordo com as modalidades regulamentadas na Resolução.

Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020 (MG): estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de estações de tratamento de esgotos sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados no Estado de Minas Gerais. Dentre outras modalidades, a deliberação engloba o reúso urbano, sendo este dividido nas categorias ampla e limitada. No art. 3º, inciso II alínea “a” e “b”, essas categorias são especificadas, sendo no uso amplo permitido a lavagem de praças, pátios, ruas e avenidas, estacionamentos e outros usos similares em áreas de

acesso amplo ao público, além de lavagem de veículos comuns e uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias). No uso limitado é permitido lavagem de veículos especiais (caminhões de coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração, trens e aviões), controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto.

Resolução Conjunta SES/SIMA nº 1/2020 (SP): disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário no Estado de São Paulo. Esta resolução estabelece categorias de água de reúso, sendo reúso irrestrito não potável para classe A e reúso restrito não potável para a classe B.

Além dos mencionados acima para nível estadual, as normas e diretrizes em nível nacional que informam padrões físico-químicos e microbiológicos da água com intenção de reúso não potável são: a NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), NBR 16.783/19 (ABNT, 2019) o Manual de Conservação e Reúso de Águas (SIDUSCON, 2005) (Tabela 3):

A NBR 13.969/1997 que trata sobre Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, contempla em seu conteúdo o planejamento do sistema de reúso, usos previstos para efluente tratado, manual de operação e treinamento dos responsáveis, volume de efluente a ser tratado e seu grau de tratamento necessário, sistema de distribuição e reservatório para efluente doméstico ou similares com fins não-potáveis, como: lavagens de pisos e veículos, irrigação de jardins e de campos agrícolas, descarga de vasos sanitários, pastagens, manutenções paisagísticas dos lagos e canais com água, entre outros (MAY, 2009).

A NBR 16.783/19 que trata sobre fontes alternativas de água não potável em edificações, estabelece procedimentos e requisitos para caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações com uso residencial, comercial, institucional, de serviços e de lazer. Essa norma atualiza a NBR 13.969/97 somente sobre o reúso de efluentes e estabelece padrões de qualidade para fontes alternativas de águas para fins não potáveis em edificações. São consideradas água de chuva, de rebaixamento de lençol freático, água clara, água cinza, água negra e efluente sanitário. Quanto aos usos

não potáveis, são citados: descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas; lavagem de veículos; irrigação para fins paisagísticos; uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos); sistemas de resfriamento de águas e arrefecimento de telhados (ABNT,2019).

Já o Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações (SIDUSCON, 2005), apesar de ser uma diretriz estadual, costuma ser uma das bases da prática de reúso no Brasil, sendo considerada aqui, portanto, em âmbito nacional. Trata das exigências mínimas para uso de água não potável, os padrões de qualidade da água de reúso para três classes: classe 1 (descargas de vasos sanitários, lavagem de pisos, fins ornamentais, lavagens de roupas e veículos), classe 2 (lavagem de agregados, preparação de concretos, compactação de solos e controle de poeira) e classe 3 (irrigação de jardins e áreas verdes), fontes alternativas para reúso, processos, eficiência e metodologia para implantação de sistemas de tratamento, sempre visando garantir a saúde do usuário.

Nas Tabela 2 e Tabela 3 estão expostos os valores máximos permitidos (VMP's) para coliformes termotolerantes e *E. coli* para as normas/diretrizes citadas acima, para usos não potáveis.

**Tabela 2 - Parâmetros de qualidade para uso da água não potável em nível estadual**

<b>Norma/Diretriz</b>	<b>Finalidade</b>	<b>Parâmetro: CT (NMP/100mL)</b>
<b>Resolução COEMA n° 2/2017 (Ceará)</b>	Irrigação Paisagística	≤ 1000
	Fins urbanos	≤ 5000
<b>Deliberação Normativa CERHMG n° 65/2020 (Minas Gerais)</b>	Fins urbanos	Amplio: ≤ 1x10 <sup>3</sup> Limitado: ≤ 1x10 <sup>4</sup>
<b>Resolução Conjunta SES/SIMA n° 1/2020 (São Paulo)</b>	Fins urbanos	Irrestrito: ND Restrito: < 200 ou ≤ 120 ( <i>E. coli</i> )

Legenda –CT: Coliformes termotolerantes; ND: Não detectado;

Fonte: Adaptado de Ceará (2017); Minas Gerais (2020); São Paulo (2020).

**Tabela 3 - Parâmetros de qualidade para uso da água não potável em nível federal**

<b>Reúso não potáveis</b>	<b><i>E. coli</i> (NMP/100mL)</b>		
	<b>NBR 13.969/97</b>	<b>NBR 16.783/19</b>	<b>SINDUSCON (2005)</b>
<b>Irrigação de jardins</b>	< 200	≤ 200	≤ 200
<b>Descargas de vasos sanitários</b>	< 500	≤ 200	Não detectáveis
<b>Lavagem de pisos</b>	< 500	≤ 200	Não detectáveis
Lavagem de veículos	< 500	≤ 200	Não detectáveis
Construção civil	-	≤ 200	≤ 1000

Fonte: Adaptado de ABNT (1997), SINDUSCON (2005), ABNT (2019).

### **3.5. Riscos microbiológicos durante o reúso**

As águas de reúso podem apresentar grandes quantidades de microrganismos. Esses microrganismos quando patógenos e susceptíveis de disseminação no ambiente classificam-se nos seguintes grupos: bactérias, helmintos, protozoários e vírus (MEHNERT, 2003).

Diversos grupos populacionais podem entrar em risco com a possibilidade de transmissão de patógenos, em qualquer modalidade de reúso. Blum (2003) afirma que, complicações podem ocorrer principalmente como resultado do contato das pessoas com a água de reúso, como por exemplo, contato por ingestão de alimentos crus e verduras irrigadas consumidas cruas, por ingestão direta da água, contato através da pele, contato por inalação de aerossóis, contato por meio da visão e do olfato, entre outros.

No Quadro 1, a seguir, são informados os gêneros e espécies de patógenos mais comuns nas águas residuárias dentro dos quatro grupos citados acima, bem como as

doenças a que dão origem, fontes de transmissão e principais sintomas causados no organismo.

**Quadro 1 - Doenças relacionadas às águas contaminadas**

<b>Formas de transmissão</b>	<b>Doença</b>	<b>Patógeno</b>	<b>Sintomas causados no organismo</b>
<b>Ingestão de água contaminada</b>	Disenteria bacilar	Bactéria ( <i>Shigella dysenteriae</i> )	Diarreia, febre
	Cólera	Bactéria ( <i>Vibrio cholerae</i> )	Diarreia, náusea
	Leptospirose	Bactéria ( <i>Leptospira</i> )	Febre, dor de cabeça
	Salmonelose	Bactéria ( <i>Salmonella</i> )	Diarreia, vômitos, febre moderada
	Febre tifóide	Bactéria ( <i>Salmonella typhi</i> )	Febre alta, dor de cabeça
	Disenteria amebiana	Protozoário ( <i>Entamoeba histolytica</i> )	Cólicas abdominais
	Giardíase	Protozoário ( <i>Giardia lamblia</i> )	Diarreia, mal-estar
	Hepatite infecciosa	Vírus (Hepatite A)	Fadiga, náusea
	Gastroenterite	Vírus (Enterovírus, parvovírus, rotavírus)	Febre, náusea
	Paralisia infantil	Vírus ( <i>Poliomiellites vírus</i> )	Febre, garganta inflamada
<b>Ingestão de água e alimentos contaminados</b>	Ascaridíase	Helminto ( <i>Acaris lumbricoides</i> )	Dor abdominal
	Tricuríase	Helminto ( <i>Trichuris trichura</i> )	Diarreia, dor ao defecar
	Ancilostomíase	Helminto ( <i>Ancilostoma duodenale</i> )	Lesão onde a larva penetrou, tosse
<b>Contato com água contaminada</b>	Escabiose	Sarna ( <i>Sarcoptes scabiei</i> )	Coceira, pequenas bolhas na pele
	Tracoma	Clamídea ( <i>Chlamydia tracomatis</i> )	Olhos vermelhos, inflamação dos olhos
	Esquistossomose	Helminto ( <i>Shistosoma</i> )	Febre, calafrios

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2003.

A exposição de indivíduos ao risco provocado pela reutilização de águas residuárias tratadas pode ser bastante variável e a forma de exposição aos patógenos varia conforme o objetivo e a forma da reutilização, como apontado no Quadro 2 abaixo:

**Quadro 2 - Vias de exposição conforme a utilização de águas residuárias tratadas**

<b>Aplicação</b>	<b>Vias de exposição</b>
<b>Reutilização para rega agrícola</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Consumo de plantas regadas com água reutilizada;</li><li>• Consumo de carne e outros produtos de animais alimentados com plantas regadas com água utilizada;</li><li>• Contato com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada;</li><li>• Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.</li></ul>
<b>Reutilização para rega paisagística</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contato com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada;</li><li>• Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.</li></ul>
<b>Reutilização industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eventual exposição a salpicos de água em operações de lavagem de equipamento, de pavimentos.</li></ul>
<b>Recarga de aquíferos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abastecimento de água para consumo humano, para rega e para a indústria.</li></ul>
<b>Usos recreativos e ambientais</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contato com a água, plantas e animais aquáticos.</li></ul>
<b>Reutilização para usos urbanos não potáveis</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ligações cruzadas com a rede de abastecimento de água potável;</li><li>• Exposição a aerossóis formados na lavagem de veículos e no combate a incêndios.</li></ul>

Fonte: ANA, 2016.

### **3.6. Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM)**

A AQRM fundamenta-se na execução dos princípios da Análise de Risco em termos microbiológicos com o objetivo de estimar os efeitos à saúde humana resultantes da exposição a microrganismos infecciosos em diferentes circunstâncias (HAAS *et al.*, 2014). A AQRM relaciona diversos conhecimentos científicos com conhecimentos estatísticos, possibilitando uma análise coerente a respeito dos riscos existentes em um determinado cenário de exposição (WHO, 2016). Ou seja, as informações são combinadas numa única avaliação que propicia um resultado fundamentado em evidências a respeito dos riscos de doenças infecciosas transmitidas pela água (WHO, 2016).

É uma forma sistemática de utilizar informações científicas para ajudar o gerenciamento de tomadas de decisão de segurança hídrica em nível regulatório ao optar por ações de remediação ou esforços de pesquisa (WHO, 2016).

A AQRM possui um processo de quatro passos para avaliação, que podem ser quantificados e serão descritos a seguir (WHO, 2016):

1. **Formulação do problema:** Nesta etapa são determinados o escopo e o propósito da avaliação de riscos. O propósito dependerá do contexto envolvido, a resposta que a avaliação pretende fornecer e o nível exigido de segurança para gerenciamento do risco. No escopo da AQRM são definidos a identificação dos perigos, a identificação de rotas de exposição e os efeitos na saúde a serem considerados:

- **Identificação do perigo:** compreende a avaliação do conhecimento disponível e a descrição de efeitos adversos à saúde, crônicos ou agudos, associados a um determinado perigo (agente químico, físico ou microbiológico) ou situação (evento perigoso).
- **Identificação das rotas de exposição:** ocorre a delimitação do risco e é determinado o que será considerado ou não, através da rota entre a ocorrência do patógeno até a exposição do indivíduo. São identificados eventos ou situações perigosas específicas que estão dentro do que é previsto na avaliação para o gerenciamento de riscos.
- **Identificação dos efeitos na saúde:** são identificados os efeitos na saúde (enfermidades, sequelas e doenças ou a combinação desses) a depender do propósito da avaliação.

2. **Avaliação da exposição:** visa à caracterização da população exposta, a quantidade ingerida do agente, a frequência, a duração e as prováveis vias de exposição. Determina-se a quantidade de organismos correspondentes a uma única exposição ou o total resultante de uma série de exposições. A avaliação de exposição envolve os seguintes passos:

- **Definição dos caminhos de exposição:** são definidos os caminhos (rotas) de exposição realizados anteriormente, incluindo pontos de quantificação das fontes de patógenos, redução de patógenos alcançada por barreiras e/ou medidas de controle de riscos de recontaminação, e determinação da magnitude e frequência de exposição.
- **Quantificação de cada componente da rota de exposição:** utiliza de evidências científicas e a associação de cada variável modelo com a compreensão da variedade e incerteza.

- **Caracterização da exposição:** é quantificada a magnitude e a frequência para os vários cenários considerados.
3. **Avaliação dos efeitos à saúde:** são avaliados os impactos na saúde da população específica de estudo a partir dos perigos identificados, levando em consideração grupos mais vulneráveis da população como as crianças, idosos, gestantes e imunocomprometidos, além da fração de pessoas expostas nessa população. Os seguintes itens devem ser considerados nesta etapa:
- **Dose-resposta:** o modelo relaciona a dose ingerida pelo indivíduo e a probabilidade de infecção, doença ou morte na população. É a ligação principal entre os efeitos à saúde estimados em relação à exposição de patógenos, geralmente baseados em dados experimentais apropriados para cada estudo.
  - **Probabilidade de doença:** cálculo probabilístico em que é considerado que nem todos os indivíduos infectados desenvolverão a doença relacionada.
4. **Caracterização do risco:** nessa etapa, as informações sobre exposição e dose-resposta são analisadas conjuntamente para o cálculo de probabilidades do desfecho (risco) associadas a determinado cenário de exposição a um perigo específico. A caracterização do risco é regida por:
- **Propósito da avaliação de risco definido na etapa de formulação do problema:** o propósito determina as condições do modelo que são simuladas.
  - **Medidas quantitativas de risco:** é feita a quantificação do risco a partir das informações coletadas durante as avaliações de saúde e exposição, incluindo probabilidades de infecção ou doenças. Pode ser de uma única exposição ou conjunto de exposição em sequência, durante um determinado tempo, além disso, a população pode ser a total ou a fração da população exposta.

### 3.7. *E. coli*

As bactérias da espécie *Escherichia coli* são bastonetes Gram negativos, imóveis ou móveis por flagelos, pertencentes à Família Enterobacteriaceae (LERNER & LERNER, 2003). Integram os microrganismos anaeróbios facultativos em

predominância no trato gastrointestinal humano e de outros animais de sangue quente, de forma que sua utilidade como componente da microbiota intestinal está ligada à nutrição como fonte de vitaminas (JAY, 2000).

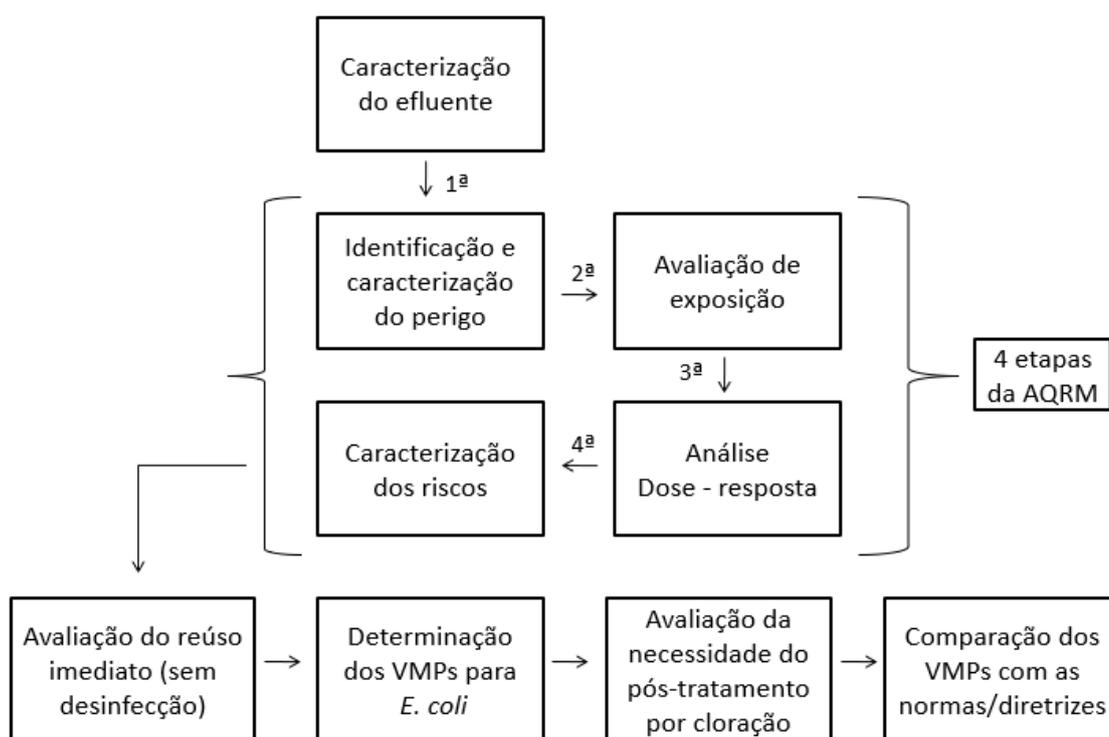
O sistema imune humano é altamente tolerante à *E. coli*, visto que este microrganismo povoa o trato gastrointestinal dos recém-nascidos em suas primeiras horas de vida (KAPER *et al.*, 2004). Nesse sentido, o homem vive em conformidade com *E. coli*, quando saudável, pois disponibiliza nutrientes e abrigo para microbiota e, em troca, ganha proteção contra espécies invasoras, colabora para geração de vitaminas e ativa o sistema imune do indivíduo, durante a maturação do sistema gastrointestinal (KAPER *et al.*, 2004). No entanto, em pessoas debilitadas, imunossuprimidos, ou quando a barreira gastrintestinal é rompida, podem causar inflamação no tecido do abdômen (peritonites) (PINTO *et al.*, 2011). Ademais, podem causar diarreia, desidratação, infecções urinárias, mastites, septicemias, meningites e até morte em crianças de países em desenvolvimento (VON SYDOW *et al.*, 2006).

É encontrada em esgotos, efluentes tratados, e todas as águas naturais e solos sujeitos à contaminação fecal, tanto dos seres humanos quanto de animais de sangue quente, como selvagens e aves. Fora do trato intestinal a *E. coli* é pouco resistente, morrendo rapidamente, sendo então, característica aplicada como indicador da qualidade da água, de maneira que a sua presença aponta contaminação recente por fezes (LERNER & LERNER, 2003).

## 4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho (Figura 1) foi baseada no trabalho de Santos (2019). As quatro primeiras etapas utilizaram a metodologia AQRM para determinar os riscos de infecção por *E. coli* para diferentes finalidades de reúso. As etapas seguintes consistiram na determinação da viabilidade do reúso imediato do efluente secundário de uma ETE compacta (sem passar por processo de desinfecção), determinação dos valores máximos permitidos (VMP's) para *Escherichia coli*, aplicabilidade da cloração como tratamento adicional para desinfecção e comparação com as normas/diretrizes existentes sobre reúso.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Autor, 2021.

### 4.1. Sistema experimental e caracterização microbiológica de efluente

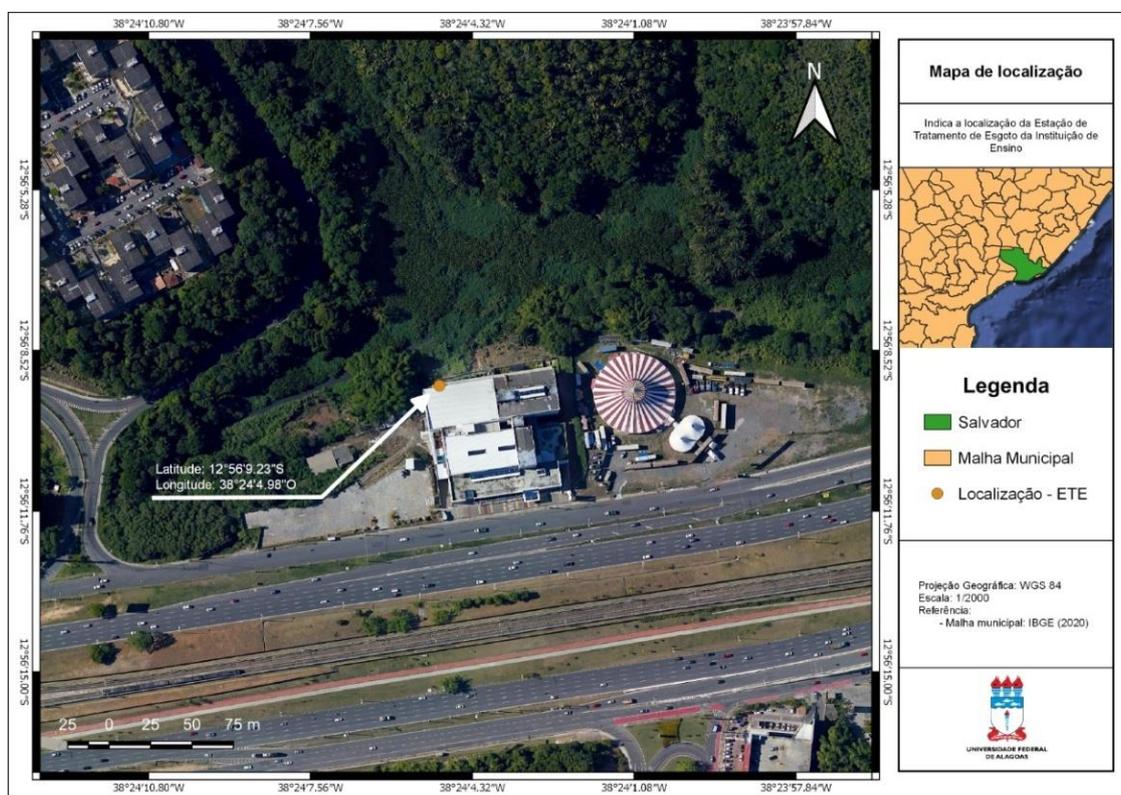
Os dados utilizados foram retirados do trabalho de Silva (2018), que fez o estudo da ETE da mesma unidade de ensino deste trabalho, localizado em Salvador-BA. Para isso, foram analisados os microrganismos patogênicos presentes tanto no efluente bruto gerado na unidade educacional como no efluente tratado, coletado na saída da última unidade componente de um sistema compacto de tratamento de

efluentes. Assim sendo, foi verificada a eficácia do tratamento em remover patógenos, apurando as concentrações de bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes (*E. coli* e coliformes totais).

A pesquisa avaliou os aspectos microbiológicos do desempenho operacional e ambiental de uma ETE que trata os esgotos gerados por uma instituição de ensino. A ETE situa-se na cidade de Salvador - Bahia, próximo à Avenida Luís Viana, nas coordenadas 12°56'9,23" S e 38°24'4,98" O (Figura 2), e tem como função tratar os efluentes gerados por uma instituição de ensino privada, com população flutuante aproximada de 1.500 estudantes e 82 funcionários (ORIGINAL AMBIENTAL LTDA., 2014). Na unidade, além das atividades escolares, há o funcionamento de um teatro.

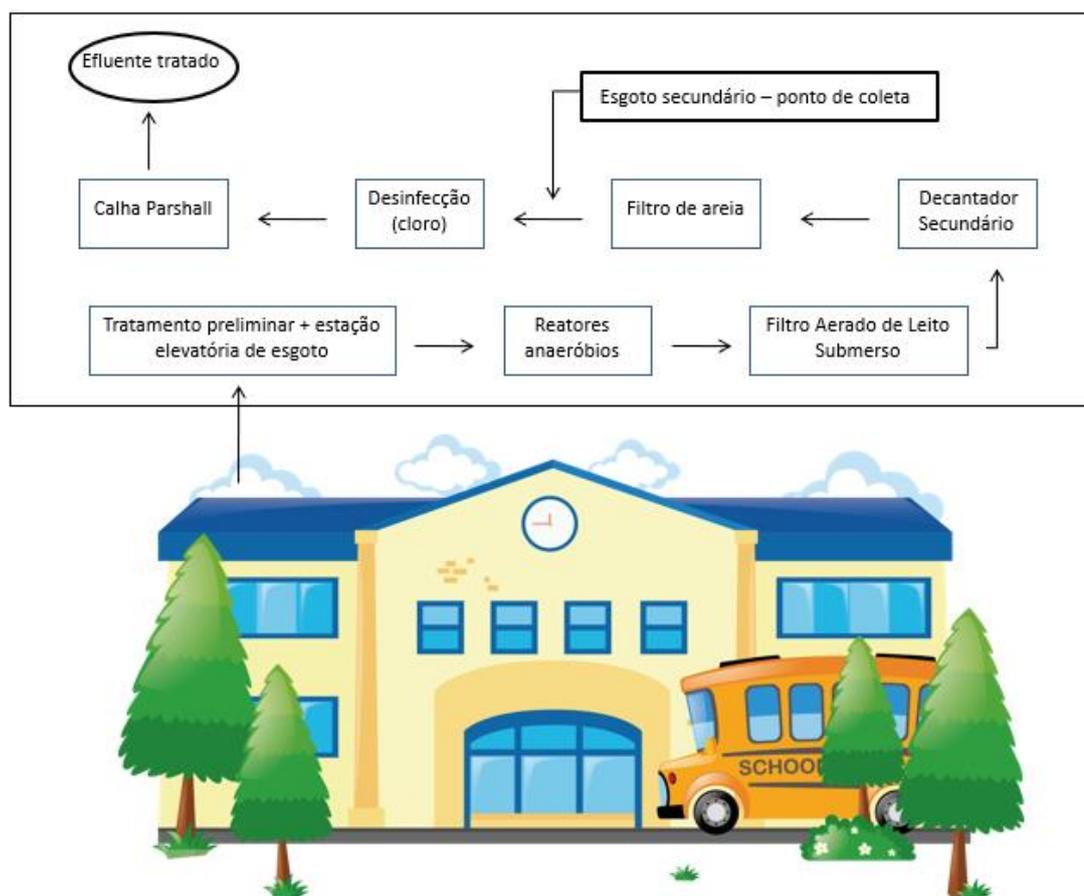
A ETE foi projetada para tratar uma vazão média de esgotos de 80 m<sup>3</sup>/dia, por meio de um processo combinado anaeróbio/aeróbio, para atender às condições e padrões para lançamento direto de efluentes estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011. Todos os reatores são contruídos em plástico reforçado com fibra de vidro, com exceção do filtro de areia (SANTOS, 2018). A Figura 3 apresenta um esquema contendo as etapas de tratamento do efluente na ETE:

**Figura 2 - Localização da ETE**



Fonte: Autor, 2021.

Figura 3 - Etapas de tratamento do efluente



Fonte: Autor, 2021.

Santos (2018) descreveu as etapas da ETE da escola, em que o efluente é levado a um poço de visita, seguindo para uma estação elevatória de esgotos (EEE), do tipo circular, com tratamento preliminar integrado, constituído por grades, com espaçamento entre as barras de 40 mm e caixa de areia. O conjunto elevatório é composto por duas bombas submersíveis, que operam alternadamente. Após o poço de sucção atingir o nível máximo, controlado por um regulador de nível do tipo boia, o efluente é recalcado para uma caixa divisora de fluxo, de volume total de 0,5 m<sup>3</sup>, que divide igualmente o efluente bruto e o lodo recirculado para dois reatores anaeróbios que operam em paralelo, de volume útil de 14,5 m<sup>3</sup> cada. Cada reator anaeróbio possui três pontos de coleta de lodo.

O efluente dos reatores anaeróbios segue para um filtro aerado de leito submerso (FAS) de fluxo ascendente, com meio suporte estruturado de material plástico, do tipo *bioring*, seguido de um decantador secundário (DS) convencional. O sistema de aeração é composto por 2 compressores de ar de 3 Hp de potência que operam

alternadamente. O efluente do decantador secundário é conduzido a um tanque de pressurização, de volume de 2 m<sup>3</sup>, de onde é bombeado para um filtro, cujo leito é preenchido com areia.

Posteriormente, o efluente é encaminhado para um tanque de aplicação de cloro, também de 2 m<sup>3</sup> de volume, para a desinfecção do efluente final, no qual a solução de hipoclorito de sódio é adicionada por meio de uma bomba dosadora. Em seguida, o efluente é encaminhado para uma calha Parshall e após esse ponto, é considerado tratado e segue para a disposição final em um corpo hídrico adjacente.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das concentrações de Coliformes Totais e *Escherichia coli* no efluente secundário encontrado por Silva (2018).

**Tabela 4 - Concentrações de Coliformes Totais (CT) e *E. coli* no efluente secundário**

<b>Efluente secundário</b>		
<b>Replicatas</b>	<b>CT</b>	<b><i>E. coli</i> (NMP/100 mL)</b>
a	-	4,88E+06
b	6,13E+08	4,57E+06
c	5,71E+07	9,80E+06
d	3,10E+05	0,00E+00
<b>Média</b>	<b>2,24E+08</b>	<b>4,81E+06</b>
Desvio Padrão	3,39E+08	4,00E+06

Fonte: Silva, 2018.

## **4.2. Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico – AQRM**

### **4.2.1. Identificação e caracterização do perigo**

Nessa etapa, foi feita a revisão bibliográfica sobre o microrganismo estudado, *E. coli*, levando em consideração a natureza e grau de severidade das doenças causadas ao hospedeiro. A *E. coli* foi aplicada como base para estabelecer o risco de infecção em função do reúso do efluente, por ser numerosa em águas residuárias, apresentar-se como um potencial causador de doenças em seres humanos e ser indicativo indireto da presença de outros organismos patogênicos. Além disso, tem-se um vasto conhecimento acumulado desse microrganismo e a disponibilidade na literatura de parâmetros seguros da ferramenta AQRM para ele.

#### 4.2.2. Avaliação de exposição

A avaliação de exposição estimou a quantidade de patógenos que foi ingerida por indivíduo ou população de acordo com cada rota de exposição e atividade de reúso. Foram considerados neste trabalho possíveis usos urbanos, especificamente para fins não potáveis dentro da unidade educacional, pois envolvem riscos menores e por isso foram considerados como primeira opção.

O valor da exposição foi estimado a partir do volume ingerido durante a atividade de reúso, levando em consideração as rotas de exposição e as frequências. Para determinar a variação entre os volumes ingeridos e frequência de eventos de exposição, foi utilizada a distribuição triangular baseadas nos volumes mínimo, médio e máximo para cada finalidade de reúso e a frequência de eventos de exposição pela média e desvio padrão (ASHBOLT *et al.*, 2005), apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição da exposição relacionada à água de reúso

Atividade	Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mínimo; médio; máximo]	Frequência anual [média; desvio padrão]
<b>Irrigação de Jardim</b>	Aerossol	[0,01;0,1;0,5]	[150;20]
	Ingestão (exposição rotineira)	[0,1;1;2;]	[150;20]
	Ingestão acidental	[10;100;200]	[1; -]
<b>Descarga de vaso sanitário</b>	Aerossol	[0,01;0,1;0,5]	[1460;100]
<b>Lavagem de pisos</b>	Aerossol	[0,01;0,1;0,5]	[11,06; -]
	Ingestão (exposição rotineira)	[0,1;1;2]	[11,06; -]

Fonte: ASHBOLT *et al.* (2005); ZANETIET *et al.* (2011); TOMAZ (2003); PASIN (2013).

A partir dos valores de volume ingerido, considerando as rotas de exposição para cada atividade de reúso e a concentração de *E. coli* presentes na água, foi possível calcular a dose (quantidade de patógeno ingerido por indivíduo ou população) dada pela Equação 1 descrita a seguir:

$$\text{dose} = E. coli \text{ no efluente} \left( \frac{\text{NMP}}{\text{mL}} \right) \cdot \text{volume ingerido (mL)} \quad (1)$$

### 4.2.3. Análise dose-resposta

Nessa etapa, a finalidade foi relacionar a dose do agente microbiológico, *E. coli*, com o risco de infecção no hospedeiro/indivíduo, decorrente de uma única exposição. Para isso, são usados os modelos de análise dose-resposta, que são funções matemáticas e fornecem a probabilidade de ocorrência de um determinado efeito adverso, variando de zero (nenhum efeito) a um (ocorrência completa) (HAAS *et al.*, 2014).

Neste trabalho, o modelo dose-resposta de Beta-Poison foi o escolhido, pois é um modelo amplamente utilizado na caracterização de riscos de bactérias como a *E. coli*. Nesse modelo, dois parâmetros de referência são utilizados: a dose infectante média ( $N_{50}$ ) que é capaz de provocar sintomas clínicos em 50% dos indivíduos em contato com a água contaminada, e um parâmetro de decaimento  $\alpha$  e é dado pela Equação 2. A dose infectante média pode ser obtida em função do parâmetro de decaimento  $\alpha$  e uma constante de proporcionalidade  $\beta$  conforme a Equação 3.

$$P_i = 1 - \left[1 + \frac{d}{N_{50}} \cdot \left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right)\right]^{-\alpha} \quad (2)$$

$$N_{50} = \beta \cdot \left(2^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right) \quad (3)$$

A partir do estudo epidemiológico de DuPont *et al.* (1971), considerado o de melhor resposta disponível para o agente *E. coli*, a dose infectante ( $N_{50}$ ) foi determinada em função dos parâmetros alfa e beta, assumindo os valores de  $2,11 \cdot 10^6$ ,  $1,55 \cdot 10^{-1}$  e de  $2,44 \cdot 10^4$ , respectivamente. O estudo base foi feito através de 3 níveis de dosagem de *E. coli* enteroinvasivas (EIEC) em indivíduos adultos, por via oral.

Substituindo a Equação (3) em (2), é possível simplificar o modelo como (Equação 4):

$$P_i = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (4)$$

Em que:

$P_i$  = probabilidade de infecção para uma única exposição;

$d$  = dose ou número de patógenos ingeridos;

$\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro, obtidos por observações e experimentos de DuPont *et al.* (1971).

#### 4.2.4. Caracterização dos riscos

Essa etapa foi a determinação do risco de infecção das atividades para múltiplas exposições em um ano. O período de um ano foi adotado a fim de que fossem comparados os resultados obtidos com os valores de referência da OMS (pppa) (Equação 5). Os valores de risco são classificados em “aceitáveis” e “não aceitáveis” dependendo da referência considerada.

$$P_n = 1 - (1 - P_i)^n \quad (5)$$

Em que:

$P_n$  = risco anual;

$P_i$  = probabilidade de infecção para uma única exposição;

$n$  = número ou frequência de exposições ao longo de um ano.

### 4.3. Determinação dos Valores Máximos Permitidos (VMP) para *E. coli*

Nessa etapa, após obter os riscos de infecção anual de *E. coli*, foram determinados seus valores máximos permitidos, de acordo com cada atividade de reúso, fundamentado num volume ingerido em cada rota e frequência de exposição, durante o período de um ano.

Levando em conta que o risco máximo aceitável determinado pela OMS para doenças diarreicas é de  $10^{-3}$  pppa (por pessoa por ano), os cálculos da AQRM foram efetuados de forma inversa à retratada nos itens anteriores, a fim de estipular os valores máximos permitidos para *E. coli* (NMP/100mL) nas águas destinadas ao reúso.

#### 4.3.1. Probabilidade de infecção para exposição única

Considerando o risco anual de  $10^{-3}$  ( $P_n$ ), a probabilidade de infecção para uma única exposição ( $P'_i$ ) foi determinada substituindo o valor conhecido na Equação 5:

$$10^{-3} = 1 - (1 - P'_i)^n$$

$$0,999 = (1 - P'_i)^n$$

$$P'_i = 1 - (0,999)^{\frac{1}{n}}$$

Portanto, a probabilidade de infecção será função do número de exposições ao longo do período de um ano (n).

#### 4.3.2. Dose ingerida

A dose de patógenos ingerida ( $d'$ ) é definida com base na Equação 4, isolando-se o termo correspondente, como se segue:

$$P'_i = 1 - \left(1 + \frac{d'}{\beta}\right)^{-\alpha}$$

$$1 - P'_i = \left(1 + \frac{d'}{\beta}\right)^{-\alpha}$$

$$\sqrt[-\alpha]{1 - P'_i} = \left(1 + \frac{d'}{\beta}\right)$$

$$d' = \beta \cdot \left[\left(1 - P'_i\right)^{-\frac{1}{\alpha}} - 1\right]$$

Conhecida a probabilidade de infecção ( $P'_i$ ), que foi definida no passo anterior, a dose ingerida ( $d'$ ) foi calculada em função dos parâmetros alfa e beta.

#### 4.3.3. Concentração máxima de *E. coli*

Por fim, o valor máximo permitido (VMP), referente à concentração de *E. coli*, foi determinado a partir da Equação 1:

$$\text{dose} = E. coli \text{ no efluente} \left(\frac{\text{NMP}}{\text{mL}}\right) \cdot \text{volume ingerido (mL)}$$

$$VMP\left(\frac{\text{NMP}}{\text{mL}}\right) = \frac{\text{dose}}{\text{volume ingerido (mL)}}$$

Logo, o VMP procurado é função da dose de patógenos ingerida, calculada anteriormente (4.3.2), e do volume ingerido, sendo este último função da modalidade de reúso e rota de exposição.

#### 4.4. Avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente por cloração e eficiência requerida

Depois de estipulados os VMP's para *E. coli*, foi analisada a necessidade de ter ou não o pós-tratamento por cloração e a respectiva eficiência mínima necessária para cada um dos efluentes e cenários de exposição, de modo que os efluentes se enquadrassem no risco admissível estabelecido pela OMS para o reúso. Confirmada a necessidade do pós-tratamento, foram analisadas as concentrações de cloro estudadas por Silva (2018) em teste de jarro e feita uma nova AQRM para avaliar quais concentrações foram eficazes na remoção de *E. coli*.

No teste de jarro realizado por ela (Figura 4), foi utilizada a água sanitária cuja composição química era basicamente uma solução aquosa de hipoclorito de sódio (NaClO), com uma proporção de cloro ativo de cerca 2,0 a 2,5% p/p de teor de cloro ativo, ou seja, possuía uma concentração de 20 a 25 g/L de cloro ativo. Na verificação da concentração de cloro ativo através da análise de cloro e de cálculos a autora chegou ao resultado de aproximadamente 2,0%, valor esse utilizado para o cálculo da quantidade de água sanitária, com a Equação 6, dosada nos 2 L da amostra do efluente.

$$C_i V_i = C_f V_f \quad (6)$$

Em que:

$C_i$  = concentração inicial;

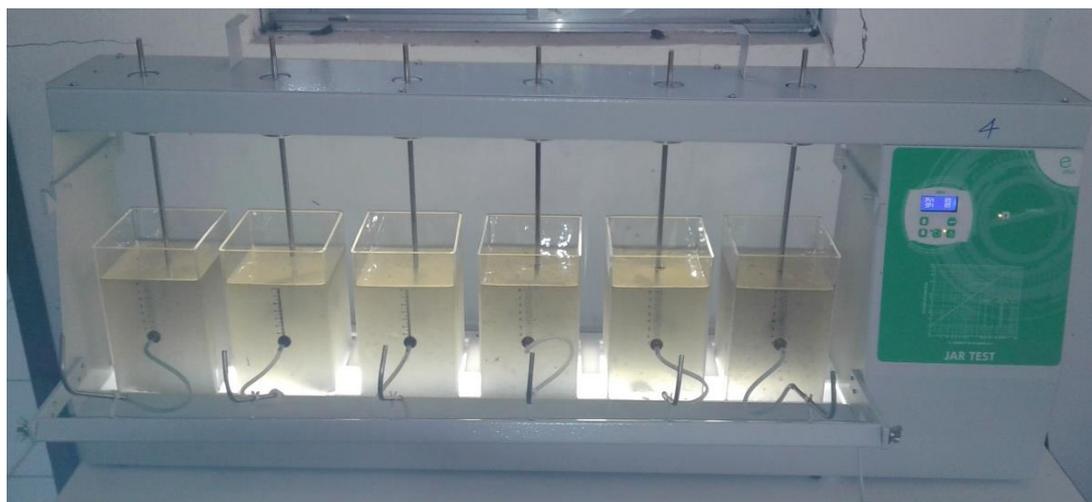
$V_i$  = concentração inicial;

$C_f$  = concentração final;

$V_f$  = volume final.

O pH do efluente foi baixado para 6,5 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) antes de colocar a água sanitária e depois de colocá-la, as concentrações de cloro estudadas pela autora foram 15, 20, 25 e 30 mg/L, sendo 1,5, 2,0, 2,5 e 3,0 mL de água sanitária, respectivamente. O tempo de contato do desinfetante a base de cloro com o efluente foi de 30 minutos.

**Figura 4 - Equipamento jarro de teste**



Fonte: Silva, 2018.

#### **4.4.1. Comparação dos VMP's obtidos com as normas e diretrizes nacionais e estaduais**

Os VMP's foram comparados com os valores de referência sobre reúso de águas: a NBR 16.783/19 (ABNT, 2019), o Manual sobre Conservação e Reúso da Água em Edificações, do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON, 2005), COEMA/CE nº 2/2017, Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020 e Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01, de 13 de fevereiro de 2020, conforme indicados na Tabela 2 e Tabela 3. O objetivo foi analisar a coerência dos parâmetros determinados e se foi aceitável fundamentar-se em tais referências, dado que estas não possuem embasamento científico e muitas vezes não consideram as particularidades de cada região e localidade.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1. Determinação dos riscos de infecção anual, VMP's para *E. coli* na água de reúso e avaliação da necessidade de pós-tratamento do efluente e respectiva eficiência**

Foi utilizada a ferramenta AQRM descrita na metodologia para o cálculo do risco de infecção anual ( $P_n$ ) para o reúso das águas em atividades de irrigação de jardim, descarga de vaso sanitário e lavagem de piso, com suas rotas de exposição

correspondentes. A escolha por essas atividades de reúso em específico foi feita por serem a possibilidade de reúso na própria escola.

Os riscos calculados para doenças diarreicas (Pn) foram comparados ao valor de  $10^{-3}$  pppa (por pessoa por ano), definido como risco aceitável pela OMS, em cada atividade de reúso mencionada, considerando as rotas de exposição, os volumes ingeridos e a frequência anual de exposição.

A AQRM também pode ser usada para determinar a eficiência do tratamento aplicado ao efluente estudado, partindo da concentração de patógenos considerada segura, de forma a alcançar aquela concentração pré-estabelecida. Essa concentração, que é o Valor Máximo Permitido (VMP) deve produzir um risco de infecção aceitável, ou seja, de até 0,001 pppa, segundo as recomendações da OMS (PAULO *et al.*, 2019).

Nessa etapa, a ferramenta AQRM foi aplicada, mas de maneira inversa, com a finalidade de indicar o valor máximo permitido (VMP) de *E. coli* na água de reúso, baseado no valor definido pela OMS como risco admissível de infecção anual (0,001 pppa), conforme a metodologia mencionada no trabalho.

Os VMP's foram comparados com as concentrações de *E. coli* no efluente de estudo, analisando se é dispensável ou não o tratamento adicional e suas respectivas eficiências para os casos em que é necessário o tratamento. As Tabela 6, 7 e 8 sintetizam os resultados encontrados:

Tabela 6 - VMP's para irrigação de jardim e eficiências mínimas requeridas

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de Referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]	
Aerossol	0,01	150	481	3,0212E-03	<b>0,365</b>	0,001 pppa	6,67E-06	1,05	10500	Sim	99,78
	0,1		4810	2,7504E-02	<b>0,985</b>		6,67E-06	1,05	1050	Sim	99,98
	0,5		24050	1,0087E-01	<b>1,00</b>		6,67E-06	1,05	210	Sim	100
Ingestão (exposição rotineira)	0,1	150	4810	2,7504E-02	<b>0,985</b>	0,001 pppa	6,67E-06	1,05	1050	Sim	99,98
	1		48100	1,5532E-01	<b>1,00</b>		6,67E-06	1,05	105	Sim	100
	2		96200	2,1939E-01	<b>1,00</b>		6,67E-06	1,05	52,5	Sim	100
Ingestão acidental	10	1	481000	3,7485E-01	<b>0,375</b>	0,001 pppa	0,001	158,01	1580	Sim	99,97
	100		4810000	5,5947E-01	<b>0,559</b>		0,001	158,01	158	Sim	100
	200		9620000	6,0419E-01	<b>0,604</b>		0,001	158,01	79	Sim	100

Fonte: Autor, 2021.

A partir dos dados da Tabela 6, observou-se que nenhum dos riscos de infecção anual ( $P_n$ ) calculados se enquadraram no estabelecido pela OMS, para risco admissível, independente da rota de exposição e volume ingeridos. O risco calculado que mais se aproximou do valor de referência foi de 365 pessoas infectadas a cada mil expostas (36,5%), por ano, para a rota de exposição para aerossol, considerando 0,01 mL de volume ingerido. Notou-se também que os VMP's calculados encontraram-se menores que a concentração de *E. coli* do efluente avaliado ( $4,81 \cdot 10^6$  NMP/100mL) indicando que a água de reúso apresenta a concentração desses microrganismos acima do que é considerado permitido para o risco aceitável dos usuários. Com isso, em todas as atividades estudadas, sem importar as rotas de exposição e volumes ingeridos, é preciso de tratamento adicional. As eficiências do tratamento para remoção de patógenos foram todas acima de 99%, sem exceção. A menor foi de 99,78% para a rota de exposição por aerossol, com volume ingerido de 0,01 mL.

Tabela 7 - VMPs para descarga de vaso sanitário eficiências mínimas requeridas

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]
Aerossol	0,01		481	3,0212E-03	<b>0,988</b>		6,85E-07	0,11	1080	Sim 99,97
	0,1	1460	4810	2,7504E-02	<b>1,00</b>	0,001 pppa	6,85E-07	0,11	108	Sim 100
	0,5		24050	1,0087E-01	<b>1,00</b>		6,85E-07	0,11	21,6	Sim 100

Fonte: Autor, 2021.

A modalidade descarga de vaso sanitário apresentou um risco de infecção de 100%, exceto para o volume ingerido de 0,01 mL que foi de 98,8% (988 pessoas infectadas a cada mil expostas). Como observado é preciso de um tratamento adicional para remoção de patógenos, com eficiência de quase 100% para todos os volumes (exceto para o de 0,01 mL que foi de 99,97%), dado que, novamente, as concentrações de *E. coli* são superiores aos VMP's, promovendo um risco de infecção além do que é considerado seguro para o uso da água de reúso.

**Tabela 8 - VMP's para lavagem de pisos e eficiências mínimas requeridas**

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de Referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]
Aerossol	0,01	11,06	481	3,0212E-03	<b>0,0329</b>	0,001 pppa	9,05E-05	14,24	142000	Sim 97,04
	0,1		4810	2,7504E-02	<b>0,265</b>		9,05E-05	14,24	14200	Sim 99,70
	0,5		24050	1,0087E-01	<b>0,691</b>		9,05E-05	14,24	2850	Sim 99,94
Ingestão (exposição rotineira)	0,1	11,06	4810	2,7504E-02	<b>0,265</b>	0,001 pppa	9,05E-05	14,24	14200	Sim 99,70
	1		48100	1,5532E-01	<b>0,845</b>		9,05E-05	14,24	1420	Sim 99,97
	2		96200	2,1939E-01	<b>0,935</b>		9,05E-05	14,24	712	Sim 99,99

Fonte: Autor, 2021.

Na Tabela 8, semelhante às atividades anteriores, nenhum dos riscos calculados atendeu ao valor aceitável estabelecido pela OMS (0,001pppa), impossibilitando o reúso imediato. O melhor cenário de exposição e o mais otimista das três atividades analisadas foi de 3,29% (32,9 pessoas infectadas a cada mil expostas) com rota de exposição para aerossol, com volume ingerido de 0,01 mL. Os cenários em que a concentração do efluente em estudo apresentou resultado menor e mais próximo dos VMP's foi a partir da rota de exposição por aerossóis e volume ingerido de 0,01 mL, com valor de 97,04%, sendo todo o resto acima de 99% de eficiência para remoção de patógenos, sendo assim, indispensável o tratamento adicional em todos os casos.

Dessa maneira, os cenários mostram os resultados obtidos ao estimar o risco de infecção, em que os VMP's são inferiores à concentração de *E. coli* na água de reúso, onde requer tratamento complementar e refletem que o risco de infecção anual é maior do que o valor ideal determinado pela Organização Mundial da Saúde.

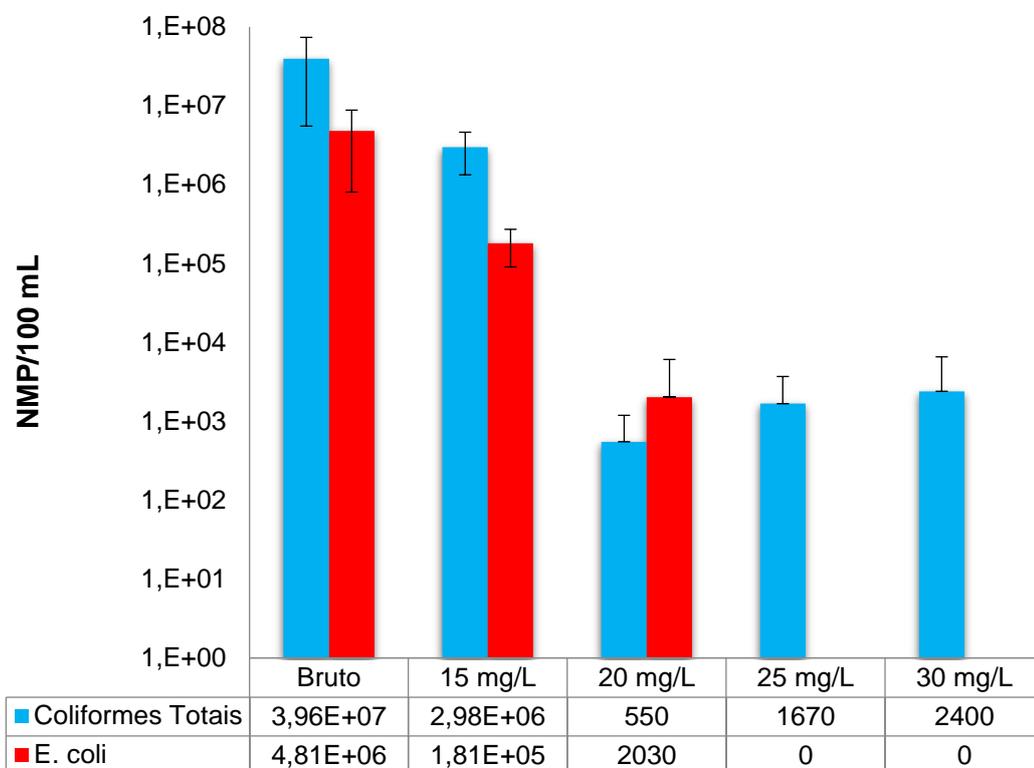
Portanto, a reutilização da água para as atividades e rotas de exposição avaliadas não pode ser garantida.

## **5.2. Pós-tratamento por cloração**

Dentre os agentes desinfetantes de maior uso por questões de custos competitivos, fácil técnica de aplicação, controle e disponibilidade, está o cloro, que é amplamente disseminado no Brasil (DANIEL; SILVA 2015). Por estes motivos, pode ser o agente de desinfecção mais recomendado para utilização em sistemas domésticos de reúso.

Dentre as condições estudadas por Silva (2018) no teste de jarro, ela analisou os valores de coliformes totais e *E. coli* para diferentes concentrações de cloro e verificou-se que as concentrações de 25mg/L e 30 mg/L de cloro apresentaram bom resultado de desinfecção, já que foi zerada a concentração de *E. coli* no efluente tratado, o que o qualifica para todas as finalidades de reuso propostas (Figura 5).

**Figura 5 - Valores de coliformes totais e *E. coli* para diferentes concentrações de cloro**



Fonte: Silva, 2018.

Já para analisar as eficiências do pós-tratamento com cloro para as concentrações de 15 e 20 mg/L, como o recomendado (Tabela 1), foi feita a AQRM para as atividades de irrigação de jardim, descarga de vaso sanitário e lavagem de piso, com suas rotas de exposição correspondentes, utilizando igualmente a metodologia do trabalho e dos tópicos anteriores.

Abaixo seguem as tabelas da AQRM para irrigação de jardim, descarga de vaso sanitário e lavagem de pisos, para as concentrações de 15mg/L e 20 mg/L (Tabela 9 à Tabela 14):

Tabela 9 - AQRM para irrigação de jardim com concentração de cloro a 15mg/L

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]	
Aerossol	0,01	150	18,1	1,15E-04	<b>0,0171</b>	0,001 pppa	6,67E-06	1,05	10500	Sim	94,2
	0,1		181	1,14E-03	<b>0,158</b>		6,67E-06	1,05	1050	Sim	99,42
	0,5		905	5,63E-03	<b>0,571</b>		6,67E-06	1,05	210	Sim	99,88
Ingestão (exposição rotineira)	0,1	150	181	1,14E-03	<b>0,158</b>	0,001 pppa	6,67E-06	1,05	1050	Sim	99,42
	1		1810	1,10E-02	<b>0,811</b>		6,67E-06	1,05	105	Sim	99,94
	2		3620	2,12E-02	<b>0,960</b>		6,67E-06	1,05	52,5	Sim	99,97
Ingestão acidental	10	1	18100	8,24E-02	<b>0,0824</b>	0,001	0,001	158	1580	Sim	99,13
	100		181000	2,81E-01	<b>0,281</b>		0,001	158	158	Sim	99,91
	200		362000	3,48E-01	<b>0,348</b>		0,001	158	79	Sim	99,96

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 10 - AQRM para irrigação de jardim com concentração de cloro a 20mg/L

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]
Aerossol	0,01	150	0,203	1,29E-06	<b>0,000193</b>	0,001 pppa	6,67E-06	1,05	10500	Não -
	0,1		2,03	1,29E-05	<b>0,00193</b>		6,67E-06	1,05	1050	Sim 48,15
	0,5		10,15	6,45E-05	<b>0,00962</b>		6,67E-06	1,05	210	Sim 89,63
Ingestão (exposição rotineira)	0,1	150	2,03	1,29E-05	<b>0,00193</b>	0,001 pppa	6,67E-06	1,05	1050	Sim 48,15
	1		20,3	1,29E-04	<b>0,0191</b>		6,67E-06	1,05	105	Sim 94,81
	2		40,6	2,58E-04	<b>0,0379</b>		6,67E-06	1,05	52,5	Sim 97,41
Ingestão acidental	10	1	203	1,28E-03	<b>0,00128</b>		0,001	158,01	1580	Sim 21,97
	100		2030	1,23E-02	<b>0,0121</b>		0,001	158,01	158	Sim 92,20
	200		4060	2,36E-02	<b>0,0236</b>		0,001	158,01	79	Sim 96,10

Fonte: Autor, 2021.

A partir dos dados para irrigação de jardim (Tabela 9 e Tabela 10), observou-se que nenhum dos riscos de infecção anual ( $P_n$ ) calculados enquadrou no estabelecido pela OMS, para risco admissível, independente da rota de exposição e volume ingeridos, para as concentrações de 15 e 20 mg/L de cloro, com exceção apenas da rota de exposição aerossol, considerando 0,01mL de volume ingerido para a concentração de 20mg/L de cloro, que apresentou um risco menor que 0,001 pppa, sendo suficiente para esse único caso, a quantidade de cloro utilizada no pós-tratamento. Consequentemente, observando os Valores Máximos Permitidos e as eficiências necessárias para remoção de patógenos, notou-se que apenas o caso em que o risco foi admissível não é preciso de uma nova desinfecção ou aumento da dosagem de cloro. As eficiências obtidas variaram de 21,97% a 97,41%, para as duas concentrações.

Tabela 11 - AQRM para descarga de vaso sanitário com concentração de cloro a 15mg/L

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]	
Aerossol	0,01	1460	18,1	1,15E-04	<b>0,154</b>	0,001 pppa	6,85E-07	0,108	1080	Sim	99,40
	0,1		181	1,14E-03	<b>0,812</b>		6,85E-07	0,108	108	Sim	99,94
	0,5		905	5,63E-03	<b>1,00</b>		6,85E-07	0,108	21,6	Sim	99,99

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 12 - AQRM para descarga de vaso sanitário com concentração de cloro a 20mg/L

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]	
Aerossol	0,01	1460	0,203	1,29E-06	<b>0,0019</b>	0,001 pppa	6,85E-07	0,11	1080	Sim	46,73
	0,1		2,03	1,29E-05	<b>0,0186</b>		6,85E-07	0,11	108	Sim	94,67
	0,5		10,15	6,45E-05	<b>0,0898</b>		6,85E-07	0,11	21,6	Sim	98,93

Fonte: Autor, 2021.

Na modalidade descarga de vaso sanitário (Tabela 11 e Tabela 12), nenhuma das dosagens de cloro utilizadas (15 mg/L e 20 mg/L) resultou em um risco admissível pela OMS, independente da rota de exposição e volume ingeridos. O risco mais baixo foi para o volume ingerido de 0,01 mL na concentração de 20mg/L, que apresentou o valor de 0,0019 pppa (0,19%), ou seja, 1,9 pessoas infectadas a cada mil expostas e, portanto, o menor valor para a eficiência de remoção de patógenos (46,73%). As outras eficiências foram acima de 94%. Diante do alto risco de infecção encontrado para essa atividade, mostrou-se que o tratamento complementar nessas duas concentrações de cloro não foi suficiente para um reúso seguro de água, precisando de uma concentração maior.

Tabela 13 - AQRM para lavagem de piso com concentração de cloro a 15mg/L

Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]	
Aerossol	0,01	11,06	18,1	1,15E-04	<b>0,00127</b>	0,001 pppa	9,05E-05	14,20	142000	Sim	21,30
	0,1		181	1,14E-03	<b>0,0126</b>		9,05E-05	14,20	14200	Sim	92,13
	0,5		905	5,63E-03	<b>0,0605</b>		9,05E-05	14,20	2850	Sim	98,43
Ingestão (exposição rotineira)	0,1	11,06	181	1,14E-03	<b>0,0126</b>	0,001 pppa	9,05E-05	14,20	14200	Sim	92,13
	1		1810	1,10E-02	<b>0,115</b>		9,05E-05	14,20	1420	Sim	99,21
	2		3620	2,12E-02	<b>0,211</b>		9,05E-05	14,20	712	Sim	99,61

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 14 - AQRM para lavagem de piso com concentração de cloro a 20 mg/L

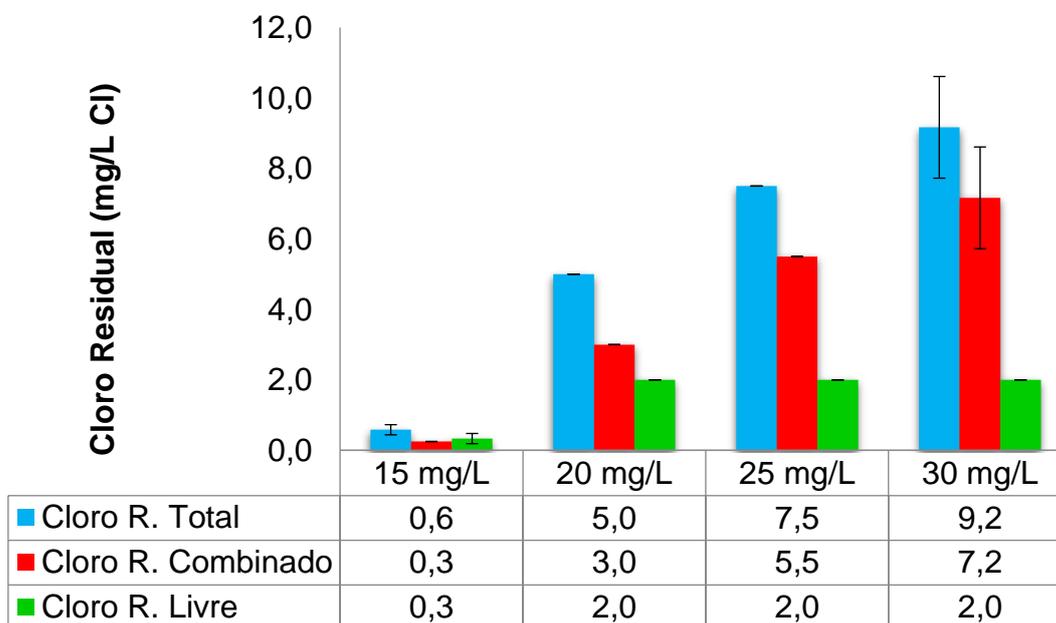
Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	dose: d (NMP)	Pi	Pn (pppa)	Valor de referência (OMS)	P'i	dose: d' (NMP)	VMP (NMP/100mL)	Tratamento adicional [Sim/Não; %]
Aerossol	0,01	11,06	0,203	1,29E-06	<b>0,000142</b>	0,001	9,05E-05	14,244	142000	Não -
	0,1		2,03	1,29E-05	<b>0,000142</b>			14,244	14200	Não -
	0,5		10,15	6,45E-05	<b>0,000711</b>			14,244	2850	Não -
Ingestão (exposição rotineira)	0,1	11,06	2,03	1,29E-05	<b>0,000142</b>	pppa	9,05E-05	14,244	14200	Não -
	1		20,3	1,29E-04	<b>0,00142</b>			14,244	1420	Sim 29,66
	2		40,6	2,58E-04	<b>0,00284</b>			14,244	712	Sim 64,83

Fonte: Autor, 2021.

Em relação às atividades de lavagem de pisos, os dados encontrados se mostraram mais otimistas, visto que alguns cenários foram favoráveis ao reúso imediato (concentração de cloro de 20 mg/L), de acordo com o valor de referência de 0,001 pppa, que considera como risco admissível 1 (uma) pessoa infectada a cada mil expostas no período de um ano. Para os casos em que não foram alcançados os limites exigidos, os riscos de infecção variaram de 0,00127 (0,127%), ou seja, 1,27 pessoas infectadas a cada mil expostas à 0,211 pppa (21,1%), ou seja, 211 pessoas infectadas a cada mil expostas. Sobre as eficiências de remoção de patógenos, obteve um menor valor de 21,3% e o maior de 99,61%.

Após a utilização do cloro para desinfecção, também foi analisado o comportamento do cloro residual na água tratada, a partir das concentrações de cloro utilizadas no trabalho de Silva (2018) e seus resultados estão apresentados na Figura 6:

**Figura 6 - Resultados de cloro residual para diferentes concentrações de cloro**



Fonte: Silva, 2018.

Nota-se na Figura 6 que o aumento do cloro dosado na amostra gera acréscimos sucessivos na concentração de cloro residual, principalmente o cloro residual combinado. Observou-se também que a amostra de 15 mg/L não atende a concentração mínima de 0,5 mg/L de cloro residual livre recomendado, depois do tempo de contato do cloro com o efluente, estando as demais concentrações estudadas dentro da faixa

recomendada (0,5 - 2 mg/L) sem ultrapassar o limite máximo estabelecido (5mg/L) (ABNT NBR 16.783/2019).

### **5.3. Comparação dos VMP's obtidos com as normas e diretrizes nacionais**

Depois dos VMP's achados para as diversas atividades de reúso (aplicação da AQRM e determinação dos riscos de infecção anuais), eles foram comparados às normas/diretrizes nacionais e estaduais para reúso de água não potável. Como mencionado anteriormente, foram consideradas a NBR 16.783/2019 e o Manual do SINDUSCON que costumam ser a base da prática de reúso no Brasil e a nível estadual a COEMA/CE nº 2/2017, Deliberação Normativa CERH-MG nº 65/2020 e Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01, de 13 de fevereiro de 2020.

A NBR 16.783/19, utiliza um único valor de referência (< 200 NMP/100mL de *E. coli*), sendo mais restritiva que a NBR 13.969/97, que ainda vigora, mas antes era referência para o reúso de águas residuárias apresentando diferentes parâmetros para as diversas modalidades de reúso e foi atualizada pela NBR 16.783/19 nesse quesito em questão. O Manual do SINDUSCON/2005 estabelece várias classes para a água residuária, cada uma com seus parâmetros (Tabela 3).

As diretrizes estaduais apresentam parâmetros que diferem bastante entre si (Tabela 2) e com relação a NBR 13.969/97 e o Manual do SINDUSCON/2005, observando-se que a Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01, do estado de São Paulo é a mais restritiva de todas mencionadas.

A seguir os VMP's calculados para as diferentes modalidades de reúso da água residuária em estudo e suas respectivas comparações com as normas/diretrizes nacionais e estaduais (Tabela 15):

Tabela 15 - Comparação dos VMP's obtidos com as normas e diretrizes nacionais e estaduais

Atividade	Rota de exposição	Volume ingerido (mL) [mín; méd; máx]	Frequência anual (n)	VMP NMP/100mL	Normas e Diretrizes nacionais e estaduais				
					NBR 16.783/19 (NPM/100 mL)	SINDUSCON (NPM/100 mL)	Resolução COEMA nº 2/17 (CE) NMP/100mL	Deliberação CERH nº 65/20 (MG) NMP/100mL	Resolução SES/SIMA nº 1/20 (SP) NMP/100mL
Irrigação de jardim	Aerossol	0,01	150	10500	Não	Não	Não	Não	Não
		0,1		1050	Não	Não	Não	Sim<10000	Não
		0,5		210	Não	Não	Sim<1000	Sim<10000	Não
	Ingestão (exposição rotineira)	0,1	150	1050	Não	Não	Não	Sim<10000	Não
		1		105	Sim<200	Sim<200	Sim<1000	Sim<10000	Sim<120
		2		52,5	Sim<200	Sim<200	Sim<1000	Sim<10000	Sim<120
		10		1580	Não	Não	Não	Sim<10000	Não
Ingestão acidental	100	1	158	Sim<200	Sim<200	Sim<1000	Sim<10000	Não	
	200		79	Sim<200	Sim<200	Sim<1000	Sim<10000	Sim<120	
Descarga de vaso sanitário	Aerossol	0,01	1460	1078,8	Não	Não	Sim<5000	Não	NA
		0,1		107,9	Sim<200	Não	Sim<5000	Sim<1000	NA
		0,5		21,6	Sim<200	Não	Sim<5000	Sim<1000	NA
Lavagem de piso	Aerossol	0,01	11,06	142000	Não	Não	Não	Não	Não
		0,1		14200	Não	Não	Não	Não	Não
		0,5		2850	Não	Não	Sim<5000	Não	Não
	Exposição rotineira	0,1	11,06	14200	Não	Não	Não	Não	Não
		1		1420	Não	Não	Sim<5000	Não	Não
	2		712	Não	Não	Sim<5000	Sim<1000	Não	

Legenda: Sim (atende à norma/diretriz); Não (não atende à norma/diretriz) e NA (não se aplica)

Fonte: Autor, 2021.

## 6. CONCLUSÕES

Pôde-se concluir a partir da aplicação da AQRM, que o sistema experimental estudado não apresentou eficiência mínima suficiente em relação à remoção de *E. coli* para o reúso seguro do efluente nas atividades de irrigação de jardim, descarga de vaso sanitário e lavagem de piso da escola.

Em todos os casos, a eficiência mínima exigida para a reutilização de águas residuais foi superior a 97% e chegou a atingir 100% nas três modalidades estudadas, a depender do volume ingerido. Não foi encontrado nenhum cenário mais favorável, sendo necessária a adoção de um pós-tratamento de desinfecção com eficiências elevadas.

A partir da utilização do cloro no processo de desinfecção, que mostrou ser uma escolha razoável por se tratar de uma alternativa já consagrada (além da facilidade de aplicação, manuseio, armazenamento e baixo custo associado), foram alcançados resultados satisfatórios para as concentrações de cloro de 25 mg/L e 30 mg/L em que a concentração de *E. Coli* foi abaixo do limite de detecção do método, sendo o reúso imediato permitido e dentro do limite estabelecido pela OMS. Para a desinfecção com 15 mg/L de cloro, nenhum cenário foi favorável para o reúso imediato, sendo essa dosagem insuficiente para enquadrar o efluente no risco admissível determinado pela OMS. Para a concentração de 20 mg/L de cloro, o cenário foi mais favorável para o reúso, pois algumas rotas de exposição e dosagens ingeridas se enquadraram no risco permitido, principalmente os de lavagem de piso.

Os VMP's em sua maioria, calculados de acordo com a OMS, não estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR16.783/19, SINDUSCON/2005 e as diretrizes estaduais. Com isso, pôde-se concluir que, em geral, as normas/diretrizes são rígidas, sendo um fator de segurança aos usuários expostos, preservando a saúde dos envolvidos. No entanto, os parâmetros usados como referência para a prática do reúso não devem se aplicar ao risco zero, mas sim com o objetivo do risco tolerável para não inviabilizar a prática do reúso. O ideal seria formular um instrumento legal em nível nacional para padronizar os valores de referência para reutilização das águas.

Por último, é importante destacar que existem outros microrganismos nesse tipo de efluente além da *E. coli*, como os ovos de helmintos, por exemplo, que são capazes de gerar efeitos adversos aos usuários. Sugere-se então, para trabalhos futuros, o estudo desses microrganismos para que seus riscos sejam determinados e assim ajudar na definição de níveis seguros de água de reúso. Sugere-se também o estudo do pós-tratamento com cloro nas

dosagens em intervalo entre 20 e 25 mg/L para analisar os valores de *E. coli* e se a maioria dos cenários estariam dentro do estabelecido pela OMS para o reúso, já que para as dosagens acima de 25mg/L de cloro a quantidade de *E. coli* foi zerada.

## 7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Ministério do Meio Ambiente. **Reúso de água agrícola e florestal**. Disponível em: <<https://capacitacao.ead.unesp.br/index.php/temas/68-conservacao-uso-racional-sustentavel-agua/161-reuso-de-agua-agricola-e-florestal>>. Acesso em 12.01.2020.

ALVES, I. G. G. **Avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados à *E. coli* em águas cinzas: estudo de caso em Maceió-AL**. 2018. 70p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2018.

ASHBOLT, N.; PETTERSON, S. R.; STENSTRON, THOR-AXEL; SCHONNING, C.; WESTRELL, T.; OTTOSON, J. **Microbial risk assessment (MRA) Tool. Urban Water Chalmers University of Technology**. Sweden. 2005. p.23-24

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.969/1997. **Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, p. 21-22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16.783/2019. **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Primeira edição: 19/11/2019. ABNT, 2019. 19p.

BRASIL. 2005. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências**. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 28 nov. 2005. p. 1-3.

BRASIL. 2010. Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010. **Estabelece diretrizes e critérios para a prática do reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 16 dez. 2010. p. 1-2.

BLUM, J. R. C. **Critérios e padrões de qualidade da água**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos; PHILIPPI J, A (coord.) **Reúso de Água**. Barueri: Manole, 2003. 49p.

CEARÁ. 2017. **Resolução COEMA nº 2 de 02 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as portarias Semace nº154, de 22 de julho de 2002 e nº111, de 05 de abril de 2011, e altera a portaria Semace nº151, de 25 de novembro de 2002

CHERNICHARO, C. A. L.*et al.* PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB. 2001. 544p

COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; MEIRELES, A. **Avaliação do Potencial de Geração de Odor de Efluente de FILAS**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

CRITES, R. W., TCHOBANOGLOUS, G. **Small and decentralized wastewater management systems**. Boston: McGraw-Hill, 1998, 1104p.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. 2008, 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental) –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

DANIEL, L. A.; SILVA, G. H. R. **Desinfecção de efluente anaeróbio com o uso de ozônio/cloro**. Eng Sanit Ambient, v.20, n.2, p. 279-288, abr./jun. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v20n2/1413-4152-esa-20-0200279.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2021.

DuPONT, H. L., SAMUEL B. FORMAL, S.B; HORNICK, R. B; SNYDER, M. J; LIBONATI, J.P; SHEAHAN, D.G; LABREC, E.H.; KALAS, J.P. Pathogenesis of *Escherichia coli* diarrhea. **The New England Journal of Medicine**. v. 285, n. 1, 1971, p.1-9.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. 1. Ed.; Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 463 p.

FERREIRA, I. V. L.; ALVES, I. G. G.; BARBOZA, M. G. **Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) associados à E. coli em águas cinzas: Estudo de caso em Maceió- 66 AL**. In: XIV SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2018, Foz do Iguaçu, PR, Anais Eletrônicos.

GONÇALVES, R. C. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patógenos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia.** PROSAB - Edital 3-Rio de Janeiro, 2003, 422p.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBA, C. P. **Quantitative Microbial Risk Assessment.** John Wiley & Sons, 2014, 427p.

HANDA, R. M. **Avaliação da cloração de efluentes e os impactos para a geração de compostos orgânicos halogenados.** 2012. 86 f. Dissertação (Mestrado profissional) - Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial em parceria com o SENAI-PR, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

HESPAHOL, I. Esgotos Domésticos como Recursos Hídricos – Parte I – Dimensões Políticas, Institucionais, Legais, Econômico-Financeiras e Socioculturais. **Revista Engenharia**, São Paulo, n.523, p. 45-58, 1997.

JAY, J., M. **Modern food microbiology.** 6. ed, Maryland: Aspen Publishers, 2000, 635p.

KAPER, J. B.; NATARO, J.P; MOBLEY, H.L.T. **Pathogenic Escherichia coli.** *Natura Reviews/Microbiology.* v. 2, 2004, p.123-140.

KATO, M. T.; LAPOLLI, F. R.; SOUSA, J. T.; NOLASCO, M. A.; GONÇALVES, R. F.; LEITE, V. D. **Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizados.** In: André Bezerra dos Santos. (Org.). *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais.* 1ªed. Fortaleza: IMPRECE, v. 1, 2019. p. 23 -47.

LERNER, K. L.; LERNER, B.W. **World of microbiology and immunology.** 1. ed, Michigan: Gale, 2003, 357p.

LIBRALATO, L., GHIRARDINI, A.V., AVEZZU, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. **Journal of Environmental Management.** 94, 2012. p 61-68.

MAY, S. **Caracterização, Tratamento e Reúso de Águas Cinzas e aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações.** 2009, 223p. Tese (Doutorado em Engenharia) –

Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MEHNERT, D. U. Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos. **Biológico** 65:19-21, 2003.

MENDONÇA, P.A.O. **Reúso de água em edifícios públicos. O caso da escola politécnica.** 2004. 162 p. Dissertação (Mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MINAS GERAIS, 2020. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020.** Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Minas Gerais, MG, 18 jun. 2020.

OLIVEIRA, E. C. M. **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta.** 2003. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ORIGINAL AMBIENTAL Ltda. **Projeto de Estação para tratamento de esgotos sanitários por sistema misto, anaeróbio e aerado,** 2014.

PASIN, D. B. **Avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados à *E. coli* em águas cinza.** 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

PAULO, P. L.; KIPERSTOK, A.; SOUZA, H. H. S.; MORAIS, J. C.; OLIVEIRA, L. O. V. O.; QUEIROZ, L. M.; NOLASCO, M. A.; MAGRI, M. E.; LOPES, T. A. S. **Ferramentas de avaliação de sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos descentralizados.** In: André Bezerra dos Santos. (Org.). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. 1ªed. Fortaleza: IMPRECE, v. 1, 2019. p. 746 -812.

PIANOWSKI, Eloisa Helena; JANISSEK, Paulo Roberto. Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. Sanare. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.20, n.20, p. 6-17,2003.

PINTO, F.A.; DIAS, C.R.; RAMOS, M.; ELLIOT, S.L. **Interações simbióticas entre Escherichia coli e seres humanos: a instabilidade de uma relação**. Revista HCPA. v. 31, n.4, 2011, p. 451-455.

SANTOS, C. D. **Avaliação da eficiência da desinfecção mediante uso de cloro gás na ETE insular – Florianópolis, SC**. 2014. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SANTOS, L.V. **Desempenho Ambiental de Estação de Tratamento de Esgotos implantada em uma unidade de ensino**. 2018. 123 f. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SANTOS, P. A. A. **Avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados ao reúso de efluentes**. 2019. 56p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2019.

SANTOS, A. B.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; VON SPERLING, M.; KATO, M. T.; PIVELI, R. P.; RIBEIRO, T. B. **Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos não segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais**. In: SANTOS, André B. *et al.* Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. Fortaleza: Gráfica e Editora Imprece, 2019. p. 219-391.

SÃO PAULO, 2020. **Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01, de 13 de fevereiro de 2020**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. São Paulo, SP, 13 fev. 2020. p. 1-5.

SILVA, D. C. **Avaliação da variação de cargas afluente e efluente de um Wetland construído de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto doméstico**. 2014, 73p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. 2014

SILVA, C. O. **Oxidação por cloro como pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. 2018.

SILVA, L. H. **Avaliação Microbiológica do efluente de uma ETE descentralizada com vistas ao reúso**. 2020. 69p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2020.

SIMÃO, L. **Avaliação da eficiência do uso de hipoclorito de sódio na desinfecção de efluentes sanitários. Estudo de caso: SAMAE de Sombrio, SC**. 2013. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP. **Conservação e reúso da água em edificações**. Prol Editora Gráfica: São Paulo, junho, 2005.

SOUZA, M. A. A.; SANTOS, A. B.; WOLF, D. B.; BARBOZA, M. G.; MORAIS, N. W. S.; BITTENCOURT, S. **Aspectos legais e normativos sobre o gerenciamento de água, lodo e emissões gasosas em sistemas descentralizados de coleta e tratamento de esgotos**. In: André Bezerra dos Santos. (Org.). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais. 1ªed. Fortaleza: IMPRECE, v. 1, p. 664 -745.2019.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TONON, D. Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura. 2007. 284 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

VASCONCELOS, R.F.A. **Descentralização político-administrativa na cidade do Recife: O caso do esgotamento sanitário na gestão da Frente Popular 1986-1988**. 1995, 247 p.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano e Regional). Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol. 1, 3ª. Edição, DESA, Ed. UFMG. 2005. 452p.

VON SYDOW, A.C.M.D.G.; COOGAN, J.A.; MORENO, A.M.; MELVILLE, P.A.; BENITES, N.R. **Ocorrência de fatores de virulência em estirpes de Escherichia coli isoladas de fezes de cães errantes**. Arq. Inst. Biol., São Paulo, v.73, n.4, 2006, p.401- 407.

WHO. **Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management**. Geneva, 2016. 204p.

ZANETI, R. N.; ETCHEPARE, R. G.; OLIVEIRA, R. G. M. M.; RUBIO, J. Riscos químicos, microbiológicos e pré-avaliação econômica no reúso de água. **Estudo de caso: Lavagem de veículos**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26º Anais. Porto Alegre/RS. 2011. p. 5.