

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Daniel Muniz de Almeida

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO SEMIQUANTITATIVA DE
RISCOS MICROBIOLÓGICOS (ASqRM) ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO DE
EFLUENTES DE UMA ETE DESCENTRALIZADA: ESTUDO DE CASO EM UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL**

Maceió
2025

Daniel Muniz de Almeida

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO SEMIQUANTITATIVA DE
RISCOS MICROBIOLÓGICOS (ASqRM) ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO DE
EFLUENTES DE UMA ETE DESCENTRALIZADA: ESTUDO DE CASO EM UM
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária,
do Centro de Tecnologia da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Professora Dra. Ivete Vasconcelos
Lopes Ferreira.

Coorientadora: Professora Dra. Daniele Vital
Vich

Maceió
2025

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

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

A447a Almeida, Daniel Muniz de.

Aplicação da metodologia de avaliação semiquantitativa de riscos microbiológicos (ASqRM) associados à reutilização de efluentes de uma ete descentralizada : estudo de caso em um condomínio residencial / Daniel Muniz de Almeida. – 2025.
64 f.: il.

Orientadora: Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira.

Co-orientadora: Daniele Vital Vich.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2025.

Bibliografia: f. 62-64.

1. Reúso de efluentes. 2. Riscos microbiológicos. 3. Reúso da água. 4. Rega de jardim. I. Título.

CDU: 628

Folha de Aprovação

AUTOR: Daniel Muniz de Almeida

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO SEMIQUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS (ASqRM) ASSOCIADOS À REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES DE UMA ETE DESCENTRALIZADA: ESTUDO DE CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Professora Dra. Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira - Universidade Federal de Alagoas (Orientadora)

Professora Dra. Daniele Vital Vich - Universidade Federal de Alagoas (Coorientadora)

Banca Examinadora:

Professor Dr. Marcio Gomes Barboza – Universidade Federal de Alagoas

Professor Dr. Christiano Cantarelli Rodrigues - Universidade Federal de Alagoas

Maceió
2025

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, gostaria de agradecer a Deus e a todas as pessoas que fizeram e fazem parte da minha vida, que me ajudaram a me tornar quem sou hoje.

Quero agradecer a minha mãe, Lucineia Maria Lopes dos Santos, por dedicar parte da sua vida a mim e por sempre estar disposta a me ajudar. Por todo amor, carinho, puxões de orelha e confiança.

Agradeço imensamente a minha orientadora Professora Doutora Ivete Vasconcelos Lopes, por toda a disponibilidade, carinho, dedicação e atenção. Tenho uma eterna gratidão e respeito.

Quero agradecer as minhas irmãs Sarah Kessya e Girleide Maria e ao meu irmão Rafael Lopes, por sempre estarem comigo.

Às minhas grandes amigas a qual trago em meu coração, Girlaine Maria, Elisama Santos e Ana Luiza, por estarem comigo em tantos momentos e me apoiarem.

À minha namorada, Sophia Maciel, por toda a compreensão na etapa final do meu curso e pelas correções no meu trabalho.

Ao Professor Doutor Márcio Gomes Barboza por todo o conhecimento transmitido e por me fazer brilhar ainda mais os olhos para o saneamento.

Ao meu pai de graduação, Marcos Vinícius, meu grande amigo que me apresentou o curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, que esteve comigo em grandes momentos durante a minha graduação e vida.

Aos amigos mais próximos que fiz durante a graduação, Luís Felipe, Tálison Barros, Ana Carina, José Hamilton, Mariana Lessa, Bruno Prado e Igor Ventura.

Quero agradecer ao PET Engenharia Ambiental e Sanitária - Ufal por ter me proporcionado uma excelente experiência acadêmica e ter me presenteado com bons amigos.

Ao Paespe por ter me apresentado a Ufal tão de perto e ter contribuído para o meu ingresso no ensino superior.

Ao grupo “5° série” e todos os seus integrantes por não me permitir enlouquecer sozinho nas etapas finais do meu curso. Agradeço por todos os momentos, todas as risadas, conversas e companheirismo.

Aos meus veteranos, Adauto Neto, Ana Letícia, Letícia Santos e Lucas Uchôa, por todo o auxílio e conselhos.

A todos os meus professores do ensino básico, fundamental, médio e superior, por contribuírem com a minha formação.

RESUMO

A prática de reutilização de água alivia as pressões hídricas regionais, o que minimiza o uso de água potável para fins menos nobres, como a irrigação de jardins e a lavagem de carros e de calçadas. Além disso, reduz os conflitos pelo uso da água, proporciona o aumento dos índices de tratamento de esgoto e incentiva o desenvolvimento de tecnologias para uma melhor qualidade dos efluentes tratados. Entretanto, mesmo sendo um tema discutido desde o século XX, o Brasil carece de legislação nacional específica que defina padrões de qualidade da água para reúso, bem como incentivo às práticas de reúso. Esse trabalho aplica a Metodologia de Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM), um método seguro quando se trata do reúso não potável, para avaliar o risco associado ao reúso do efluente tratado produzido por um condomínio residencial localizado em Maceió, Alagoas, validando a qualidade do efluente tratado por meio do indicador microbiológico *Escherichia coli*. A partir da concentração do indicador microbiológico relacionado à tecnologia de tratamento utilizada na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), rotas de exposição e receptores suscetíveis a ela, aplicam-se as equações do modelo para calcular o perigo trazido pela implantação da prática de reúso e as consequências associadas aos danos e às vulnerabilidades dos receptores expostos. O perigo do efluente associado a este trabalho remete-se ao método de tratamento da ETE, sendo caracterizado como fator 7 de perigo e, avaliando os possíveis receptores presentes na área de estudo, identificou-se uma variação de 0,29 e 0,84 na vulnerabilidade deles. De modo geral todos os riscos associados ao reúso do efluente proveniente do condomínio foram tidos como aceitáveis ou desprezíveis, exceto em um caso em que a ETE não opere corretamente elevando o fator de perigo para 9. Desse modo ASqRM apresentou-se como uma boa ferramenta para a tomada de decisão quanto a prática de reúso. No entanto, destaca-se a necessidade de implementar barreiras complementares na prática de reúso de modo a prevenir e reduzir os danos e os riscos causados aos receptores.

Palavras-chave: Reúso de efluentes; Riscos Microbiológicos; Água de reúso; Rega de jardim

ABSTRACT

The practice of water reuse alleviates regional water pressures, which minimizes the use of potable water for less noble purposes, such as irrigating gardens and washing cars and sidewalks. In addition, it reduces conflicts over water use, increases sewage treatment rates, and encourages the development of technologies for improving the quality of treated effluents. However, despite being a topic that has been discussed since the 20th century, Brazil lacks specific national legislation that defines water quality standards for reuse, as well as incentives for reuse practices. This study applies the Semiquantitative Microbiological Risk Assessment Methodology (ASqRM), a safe method when it comes to non-potable reuse, to assess the risk associated with the reuse of treated effluent produced by a residential condominium located in Maceió, Alagoas, validating the quality of the treated effluent through the microbiological indicator *Escherichia coli*. Based on the concentration of the microbiological indicator related to the treatment technology used in the Sewage Treatment Plant (STP), exposure routes and receptors susceptible to it, the model equations are applied to calculate the hazard brought by the implementation of the reuse practice and the consequences associated with the damage and vulnerabilities of the exposed receptors. The hazard of the effluent associated with this work refers to the STP treatment method, being characterized as a hazard factor of 7. By evaluating the possible receptors present in the study area, a variation of 0.29 and 0.84 in their vulnerability was identified. In general, all the risks associated with the reuse of the effluent from the condominium were considered acceptable or negligible, except in one case in which the STP did not operate correctly, increasing the hazard factor to 9. Thus, ASqRM proved to be a good tool for decision-making regarding the practice of reuse. However, the need to implement complementary barriers in the practice of reuse is highlighted in order to prevent and reduce the damage and risks caused to recipients.

Keywords: Effluent reuse; Microbiological Risks; Reuse water; Garden irrigation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1 Reúso de efluente	11
3.2 Tecnologias de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) comuns em condomínios residenciais	13
3.2.1 Lodos Ativados.....	17
3.3 Aspectos legais e normativos	18
3.4 Potenciais aplicações do efluente tratado em função de sua qualidade	23
3.5 Microbiologia dos Efluentes	28
4 AVALIAÇÃO SEMIQUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS NO REÚSO DE EFLUENTES.....	31
5 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
6 MÉTODOS	38
6.1 Levantamento de dados	38
6.2 Identificação do perigo.....	39
6.2.1 Caracterização da Estação de Tratamento de Esgoto	39
6.2.2 Caracterização qualitativa do efluente	40
6.3 Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores.....	40
6.3.1 Identificação dos receptores envolvidos	40
6.3.2 Receptores x vias de exposição	41
6.4 Cenarização da exposição de acordo com a dose.....	41
6.4.1 Atribuição dos fatores de importância para as vias e os cenários de exposição ..	41
6.4.2 Vulnerabilidade do receptor	42
6.5 Caracterização do risco	44
6.5.1 Identificação das barreiras	44
6.5.2 Determinação do Dano	45
6.5.3 Estimativa do risco	46
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
7.1 ETAPA 1: Identificação do perigo.....	47
7.2 ETAPA 2: Identificação das vias de exposição	47
7.2.1 Receptores.....	47

7.2.2 Vias de exposição	48
7.3 ETAPA 3: Definição dos cenários de exposição	48
7.3.1 Fatores de importância.....	48
7.3.2 Vulnerabilidade.....	55
7.4 ETAPA 4: Caracterização do risco	55
7.4.1 Identificação das barreiras	55
7.5 Determinação do dano.....	56
7.5.1 Estimativa do risco	56
7.6 Proposição de barreiras complementares ou medidas de proteção	59
8 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama da classificação dos tipos de reúso de água de acordo com o PL 58/2016.	13
Figura 2 - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados aeração prolongada	18
Figura 3 - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional	18
Figura 4 - Área do Condomínio Residencial Horto da Serraria.	32
Figura 5 - Jardim da faixa do condomínio.	33
Figura 6 - Jardim de entrada no condomínio.	33
Figura 7 - Jardins entre os blocos do condomínio.	33
Figura 8 - Jardins entre os blocos do condomínio.	33
Figura 9 - Parque de lazer.	34
Figura 10 - Parque de lazer.	34
Figura 11 - Torneira de alimentação para irrigação.	34
Figura 12 - Jardim do estacionamento do condomínio.	34
Figura 13 - Unidade de tratamento preliminar.	35
Figura 14 - Tanque de aeração.	35
Figura 15 - Decantador secundário.	36
Figura 16 - Tanque de armazenamento de lodo.	36
Figura 17 - Tanque de contato.	36
Figura 18 - Calha Parshall para efluente tratado.	36
Figura 19 - Tanque de armazenamento de cloro.	37
Figura 20 - Bomba dosadora de cloro.	37
Figura 21 - Fluxograma das etapas e estágios definidos para a aplicação da Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais constituintes de importância no tratamento de esgoto.....	14
Tabela 2 - Descrição das etapas constituintes de estações de tratamento de esgoto.	15
Tabela 3 - Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos	16
Tabela 4 - Padrões e aspectos mais relevantes apresentados nos documentos reguladores no Brasil.....	21
Tabela 5 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 1.....	25
Tabela 6 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 2.....	25
Tabela 7 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 3.....	26
Tabela 8 - Variáveis de qualidade de água recomendados para o uso em torres de resfriamento, Classe 4.....	27
Tabela 9- Principais microrganismos de interesse	29
Tabela 10 - Microrganismos comuns encontrados em efluentes e danos ou doenças causadas aos seres humanos	30
Tabela 11 - Classificação do perigo baseada nos tipos de tratamento de efluente e consequentemente qualidade microbiológica.....	39
Tabela 12 - Fator de importância aplicável a cada cenário de exposição (fi cen exp)	42
Tabela 13 - Fator de importância aplicável a cada via de exposição (fi via exp).....	42
Tabela 14 - Barreiras e número de barreiras equivalentes aplicáveis à pesquisa.	44
Tabela 15 - Matriz de determinação do dano parcial para cada barreira.....	45
Tabela 16 - Níveis de Risco Global na escala quantitativa e qualitativa.....	46
Tabela 17 - Grupos e subgrupos de receptores para a análise dos danos.	48
Tabela 18 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Jardineiros).	51
Tabela 19 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Administrativo)	52
Tabela 20 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Visitantes)	53
Tabela 21 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Moradores)	54
Tabela 22 - Vulnerabilidade de cada receptor.	55
Tabela 23 - Barreiras e número de barreiras equivalentes adotadas.....	56

Tabela 24 - Danos parciais e totais associados a cada um dos receptores.....	56
Tabela 25 - Resultado dos riscos no reúso do efluente tratado.	58

LISTA DE SIGLAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ApR	Água para Reutilização
AQRM	Análise Quantitativa do Risco Microbiológico
ASqRM	Análise Semiquantitativa do Risco Microbiológico
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxigénio em cinco dias
E. coli	Escherichia coli
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
ISO	Organização Internacional para a Normalização
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	potencial Hidrogeniônico
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SEC	Secundário
SST	Sólidos Suspensos Totais

1 INTRODUÇÃO

Diante das incertezas em relação à disponibilidade hídrica, principalmente nas regiões mais áridas do planeta, o reúso de água a partir do efluente tratado se torna cada vez mais presente. Nesse sentido, a prática de reutilização de água alivia as pressões hídricas regionais, o que minimiza o uso de água potável para fins menos nobres, como a irrigação de jardins e a lavagem de carros e calçadas. Além disso, reduz os conflitos pelo uso da água, proporciona o aumento dos índices de tratamento de esgoto e incentiva o desenvolvimento de tecnologias para uma melhor qualidade dos efluentes tratados.

Sendo o esgoto sanitário uma matriz complexa, que inclui diferentes poluentes e contaminantes, destacando-se os sólidos grosseiros (removidos usualmente no tratamento preliminar, antes do processo biológico), a matéria orgânica e os nutrientes (normalmente removidos durante o processo biológico) e os microrganismos patogênicos (removidos parcialmente nas diferentes unidades de tratamento ou numa etapa de desinfecção, ao final do sistema de tratamento) (SANTOS, 2019). Logo, a irrigação, seja para fins agrícolas ou paisagísticos, torna-se uma excelente alternativa do reúso de água, pois além de fornecer nutrientes as plantas, essa prática não depende de uma água com alto padrão de qualidade.

Complementando essa afirmação, de acordo com APA (2019), uma mesma água residuária pode ser reutilizada diversas vezes se receber tratamento adequado, isto é, que garanta uma redução ou uma eliminação do risco para a saúde pública e/ou ambiental, sendo essa garantia caracterizada principalmente pela redução de patógenos, porém é importante também que os poluentes sejam reduzidos (medicamentos, nitritos, pesticidas, fosfatos e outros), esses podem contaminar o solo e, por consequência, os corpos hídricos superficiais. Ademais, Khan e Anderson (2018) discorrem que os riscos à saúde podem ser maiores ou menores, esse grau de risco depende diretamente do nível de exposição ao qual o indivíduo será submetido, uma vez que as exposições dependem do método de reúso e dos indivíduos expostos. Logo, é importante fazer uso dos modelos ou métodos de avaliação de risco antes de iniciar o processo de reúso do efluente tratado.

Com base na metodologia *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA) ou Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu um guia para produzir água potável a partir do reúso (OMS, 2017). Contudo, a APA (2019) expõe que a utilização de modelos matemáticos quantitativos como o AQRM está mais associada às águas destinadas ao consumo humano. Entende-se então que,

ainda que não sejam reconhecidos pela OMS, outros métodos de avaliação de riscos podem ser utilizados livremente, quando são destinados para fins menos nobres e não de potabilidade.

Entretanto, na ausência de dados que validem a aplicação de modelos dose-resposta, pode utilizar-se modelos qualitativos, também chamados de semiquantitativos (APA, 2019). Neste caso, a AQRM pode ser substituída pela Metodologia Semiquantitativa do Risco Microbiológico (MSqRM) ou Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM). Sendo assim, métodos qualitativos como a ASqRM tornam-se mais viáveis para avaliar o potencial risco associado ao reúso de efluente para fins menos nobres, como a irrigação de vegetação em condomínios residenciais, prática que não exige água de alta qualidade de purificação.

O Condomínio Residencial Horto da Serraria, empreendimento analisado neste trabalho, contempla áreas verdes com vegetações não frutíferas destinadas ao paisagismo local. Ademais, o local também é de fácil controle de avaliação, o que permite a caracterização do público exposto e limita a transição de pessoas.

Por esses motivos, a prática do reúso do efluente tratado, advindo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do próprio condomínio, para a irrigação dessas áreas verdes é conveniente, desde que haja a caracterização do efluente tratado e a aplicação da ASqRM. Isto porque, apesar da comprovada confiabilidade técnico-científica, o público em geral considera a água de reúso como de alto risco para a saúde humana (WHO, 2017). Com isso, a prática não depende apenas da análise dos riscos do reúso, mas também da transparência de informações e da conscientização da população da região, além da implementação de barreiras que reduzam os riscos e tornem o reúso mais confiável.

Sendo assim, em virtude das preocupações ambientais, bem como da crescente necessidade de encontrar maneiras de preservar os recursos hídricos, explorar a possibilidade do reaproveitamento do esgoto sanitário é uma tendência observada. Para isso, este trabalho enfrenta a problemática dos riscos microbiológicos relacionados ao reúso do efluente tratado a partir da aplicação da ASqRM. Com o efluente proveniente de uma ETE descentralizada e o uso aplicado na irrigação de vegetações paisagísticas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Aplicar a Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico associada ao reúso de efluente tratado na irrigação de áreas vegetadas no Condomínio Residencial Horto da Serraria, localizado no município de Maceió, Alagoas.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral apresentado, será necessário estabelecer como metas específicas:

- Avaliar os tipos doenças de veiculação hídrica com o reúso de efluentes na rega de áreas verdes;
- Verificar o nível de riscos para os grupos envolvidos no reúso (trabalhadores, moradores, visitantes, adultos e crianças);
- Determinar a classificação de riscos qualitativos e semiquantitativos, por meio de uma matriz de probabilidade e de gravidade dos eventos de exposição;
- Identificar barreiras de proteção e;
- Propor melhorias para o reúso.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção objetiva estruturar uma pesquisa sólida dos aspectos e dos assuntos que englobam o objetivo principal do presente trabalho, o que é importante para compor uma base de apoio à linha de estudo.

3.1 Reúso de efluente

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da Resolução nº54/2005, define em seu Art. 2º, quatro importantes termos para o presente trabalho:

- Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;
- Reúso de água: utilização de água residuária;
- Água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;
- Reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Complementando as definições apresentadas na Resolução nº54/2005 do CNRH (BRASIL, 2005), a água reciclada, recuperada ou de reúso é reconhecida pela Organização das Nações Unidas como uma fonte alternativa e de confiança para o suprimento de grande parte das demandas hídricas existentes no mundo (WWAP, 2017).

Além disso, nos países classificados como de baixa e média renda, o reúso de água incentiva o aumento dos índices de tratamento de efluente e a melhoria das práticas operacionais para alcance da qualidade desejada, o que impulsiona, conseqüentemente, o desenvolvimento socioeconômico (LIMA *et al.*, 2021).

Considerando ainda que o método de descarte de efluente no Brasil é o tratamento e a disposição em rios e solos, é certo considerar que toda água captada provém de um reúso não planejado, visto que o esgoto lançado se dilui nos corpos de água, superficiais e subterrâneos, ficando à mercê da capacidade de depuração dos corpos hídricos, que se esgotam com o decorrer do tempo e das concentrações e volumes despejados (MORUZZI, 2008). Dessa forma, o reúso de efluente tratado contribui para a preservação dos mananciais superficiais e subterrâneos.

Por conseguinte, a utilização de águas residuárias domésticas como fonte alternativa de água apresenta diversas vantagens, como por exemplo (FLORENCIO *et al.*, 2006; ASANO, 2002; *apud* GOHRINGER, 2006):

Alívio da demanda e preservação da oferta de água para usos múltiplos; A reciclagem de nutrientes, proporcionando economia de insumos, como fertilizantes e ração animal; A ampliação de áreas irrigadas e a recuperação de áreas degradadas ou improdutivas; A redução do lançamento de esgotos em corpos receptores, reduzindo impactos ambientais; A promoção, em longo prazo, de uma fonte confiável de abastecimento de água dentro de uma comunidade; O gerenciamento da demanda de água em períodos de seca, no planejamento global dos recursos hídricos e; O encorajamento da população para conservar a água e adoção de práticas de reúso.

Em 2016, surgiu o Projeto de Lei nº 58/2016 (BRASIL, 2016, p.3), projeto arquivado no ano de 2018, que dispõe sobre o abastecimento de água por fontes alternativas, abrangendo as modalidades:

Reúso doméstico potável: para ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal, em área urbana ou rural; Reúso doméstico não potável: para fins domésticos, exceto o potável; Reúso urbano: para fins não potáveis, tais como irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio, em área urbana; Reúso agrícola: para produção agropecuária; Reúso florestal: para o cultivo de espécies florestais; Reúso industrial: em processos, atividades e operações industriais; Reúso aquícola: para criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos e; Reúso ambiental: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.

Na Figura 1, tem-se as possibilidades de reúso potável e não potável de acordo com o projeto de lei nº 58 de 2016.

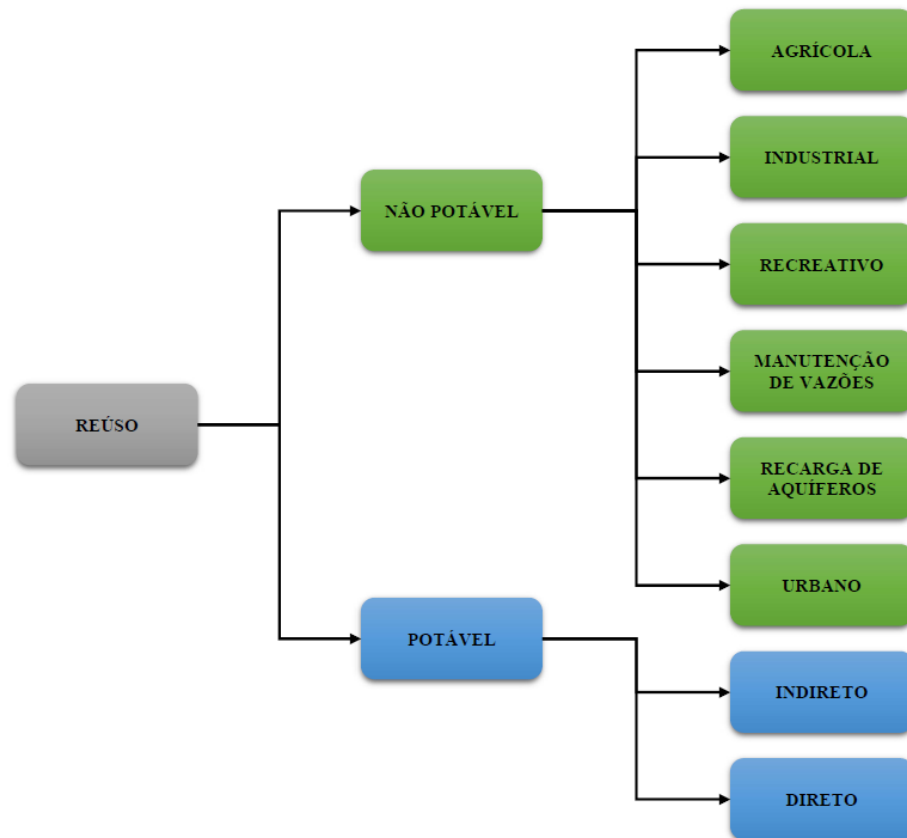


Figura 1 - Diagrama da classificação dos tipos de reúso de água de acordo com o PL 58/2016.
 Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.2 Tecnologias de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) usuais em condomínios

Os principais constituintes de esgotos, originados de fontes doméstica, municipal e industrial, são: excreta humana, águas de banho, água de processamento de alimentos e água de produtos de manutenção pessoais e domésticos, juntos a uma grande variedade de outros compostos orgânicos e inorgânicos (METCALF e EDDY, 2016). Ainda de acordo com Metcalf e Eddy (2016), há alguns constituintes de importância para o tratamento de esgoto que estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais constituintes de importância no tratamento de esgoto.

Constituintes	Razão de importância
Sólidos suspensos	Sólidos suspensos podem provocar depósitos de lodo e condições anaeróbias quando esgoto bruto é descarregado no ambiente aquático
Orgânicos biodegradáveis	Contendo principalmente proteínas, carboidratos e gorduras, os orgânicos biodegradáveis são mais comumente medidos em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Se lançado sem tratamento ao ambiente, suas estabilizações biológicas podem levar a depleção dos recursos de oxigênio natural e ao desenvolvimento de condições sépticas
Patogênicos	Doenças transmissíveis podem ser transmitidas por organismos patogênicos que podem estar presentes no esgoto.
Nutrientes	Associados ao carbono, tanto nitrogênio como fósforo são elementos essenciais para o crescimento. Quando descarregados no meio aquático, esses nutrientes podem levar ao crescimento de espécies aquáticas indesejáveis. Quando descarregados no solo em grandes quantidades, podem, também, provocar a poluição de águas subterrâneas.
Poluentes prioritários	Compostos orgânicos e inorgânicos selecionados com base em suas conhecidas ou suspeitas carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade ou elevada toxicidade aguda. Muitos desses compostos são encontrados nos esgotos.
Orgânicos refratários	Esses orgânicos tendem a resistir aos métodos convencionais de tratamento de esgotos. Exemplos típicos incluem surfactantes, fenóis e pesticidas utilizados na agricultura.
Metais pesados	Metais pesados são, usualmente, adicionados ao esgoto por atividades comerciais e industriais e poderá haver a necessidade de removê-los se o esgoto for reutilizado.
Inorgânicos dissolvidos	Constituintes inorgânicos, como cálcio, sódio e sulfato são adicionados à água por sistemas de abastecimento público e deverão ser removidos se o esgoto for reutilizado.

Fonte: Metcalf e Eddy, 2016.

Normalmente, as etapas de tratamento de efluentes dividem-se em, além do tratamento preliminar ou pré-tratamento, primária, secundária, terciária e avançada. De acordo com Metcalf e Eddy (2016), o termo “primário” se refere aos processos unitários físicos; por sua vez, as etapas “secundárias” são entendidas como os processos químicos e biológicos; já o tratamento “terciário” é uma combinação das etapas anteriores, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição das etapas constituintes de estações de tratamento de esgoto.

Nível de tratamento	Descrição
Preliminar	Remoção de constituintes, como trapos, galhos, flotáveis, areia e graxa, que possam causar problemas operacionais ou de manutenção às operações e aos processos de tratamento e sistemas auxiliares
Primário	Remoção de parte de sólidos suspensos e de matéria orgânica do esgoto.
Primário avançado	Remoção melhorada de sólidos suspensos e de matéria orgânica do esgoto. Tipicamente efetuado pela adição de compostos químicos ou filtração.
Secundário	Remoção de matéria orgânica biodegradável (em solução ou em suspensão) e sólidos suspensos. A desinfecção é, também, tipicamente incluída na definição de tratamento secundário convencional.
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos).
Terciário	Remoção de sólidos suspensos residuais (após tratamento secundário), usualmente por filtros granulares, filtros de pano ou microtelas. A desinfecção é, também, um componente típico do tratamento terciário. Remoção de nutrientes é, geralmente, incluído nesta definição.
Avançado	Remoção de materiais, suspensos ou dissolvidos, que permanecem após tratamento biológico, quando requerido para aplicações diversas de reúso.

Fonte: Metcalf e Eddy, 2016.

A Tabela 3 apresenta dados relevantes para os típicos modelos e etapas de tratamento de efluentes, inclusive a área que normalmente é requerida para ele. Uma vez que a limitação de área é um parâmetro relevante, tratando-se principalmente de condomínios residenciais, a Tabela 3 é de bom apoio para decidir o modelo de tratamento a ser utilizado.

Tabela 3 - Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos

Sistema de tratamento	Eficiência na remoção (%)				Requisitos		Tempo de detenção hidráulica total (dias)	Quantidade de lodo a ser tratado (m³/hab.ano)
	DBO	N	P	Coliformes	Área (m²/hab)	Potência (W/hab)		
Tratamento preliminar	0-5	~ 0	~ 0	~ 0	<0,001	~ 0	-	-
Tratamento primário	35-40	30-50	10-20	30-40	0,03-0,05	~ 0	0,1-0,5	0,6-13
Lagoa facultativa	70-85	30-50	20-60	60-99	2,0-5,0	~ 0	15-30	-
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	70-90	30-50	20-60	60-99,9	1,5-3,5	~ 0	12-24	-
Lagoa aerada facultativa	70-90	30-50	20-60	60-96	0,25-0,5	1,0-1,7	5-10	-
Lagoa aerada Mist. Completa - lagoa decant.	70-90	30-50	20-60	60-99	0,2-0,5	1,0-1,7	4-7	-
Lodos ativados convencional	85-93	30-40	30-45	60-90	0,2-0,3	1,5-2,8	0,4-0,6	1,1-1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	93-98	15-30	10-20	65-90	0,25-0,35	2,5-4,0	0,8-1,2	0,7-1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	85-95	30-40	30-45	60-90	0,2-0,3	1,5-4,0	0,4-1,2	0,7-1,5
Filtro biológico (baixa carga)	85-93	30-40	30-45	60-90	0,5-0,7	0,2-0,6	NA	0,4-0,6
Filtro biológico (alta carga)	80-90	30-40	30-45	60-90	0,3-0,45	0,5-1,0	NA	1,1-1,5
Biodiscos	85-93	30-40	30-45	60-90	0,15-0,25	0,7-1,6	0,2-0,3	0,7-1,0
Reator anaeróbio de manta de lodo	60-80	10-25	10-20	60-90	0,05-0,1	~ 0	0,3-0,5	0,07-0,1
Fossa séptica - Filtro anaeróbio	70-90	10-25	10-20	60-90	0,2-0,4	~ 0	1,0-2,0	0,07-0,1
Infiltração lenta	94-99	65-95	75-99	>99	10-50	~ 0	NA	-
Infiltração rápida	86-98	10-80	30-99	>99	1-6	~ 0	NA	-
Infiltração subsuperficial	90-98	10-40	85-95	>99	1-5	~ 0	NA	-
Escoamento superficial	85-95	10-80	20-50	90->99	1-6	~ 0	NA	-

Fonte: Von Sperling, 1996.

3.2.1 Lodos Ativados

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, em nível mundial, para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações em que é necessária uma elevada qualidade do efluente e uma redução da necessidade de área (VON SPERLING, 1997).

A base do tratamento biológico desse tipo de tecnologia é composta por tanque de aeração, decantador secundário e recirculação de lodo. No reator, ocorrem as reações bioquímicas da remoção de matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. No decantador secundário, ocorre a sedimentação dos sólidos. Os sólidos sedimentados são recirculados, e aqueles que não teriam mais condições de sedimentar saem com o efluente final (VON SPERLING, 1997).

Ainda, de acordo com Von Sperling (1997), o sistema de lodos ativados pode sofrer adaptações para melhorar sua remoção biológica de nitrogênio e fósforo. Entretanto, a depender do tipo de disposição final do efluente tratado, essa adaptação não é necessária, como em caso de reúso do efluente tratado para a fertirrigação, uma vez que as plantas se beneficiam desses macronutrientes.

Ademais, o sistema de lodos ativados pode ser de aeração prolongada (Figura 2) ou convencional (Figura 3), a depender do tempo de detenção hidráulica e idade do lodo. Uma outra diferença entre os dois tipos de tratamento é a necessidade de um decantador primário, sendo que, nos lodos ativados de aeração prolongada, esse é de uso facultativo.

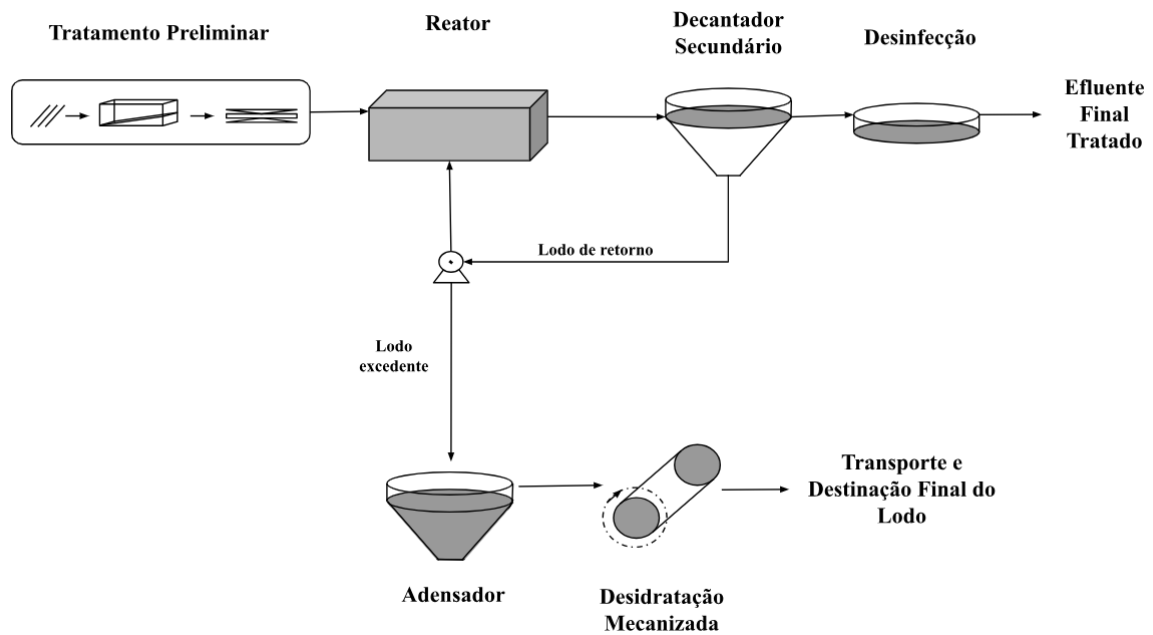


Figura 2 - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados aeração prolongada
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

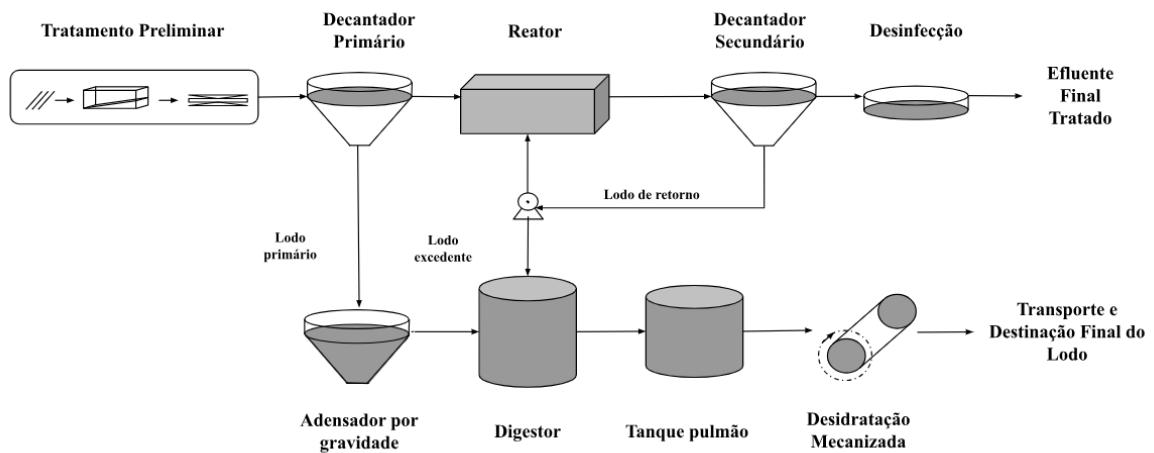


Figura 3 - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

3.3 Aspectos legais e normativos

O saneamento básico é um parâmetro de saúde pública, a exemplo disso, o esgotamento sanitário e o tratamento de esgoto previnem que a população tenha contato com possíveis contaminantes e patógenos presentes. Sendo assim, é crucial a pesquisa dos aspectos legais que influenciam no reúso de efluente tratado, uma vez que as legalizações e normas buscam prevenir o reúso inadequado e, consequentemente, o risco à saúde pública.

Em 1999, a OMS adotou pela primeira vez o conceito de segurança do abastecimento de água, no contexto dos Planos de Segurança da Água, em uma abordagem baseada no risco, com o objetivo de controlar as doenças de veiculação hídrica. Em 2006, a entidade publicou suas diretrizes para o reúso de água na agricultura (WHO, 2016).

No Brasil ainda não existe uma regulamentação em nível nacional para o reúso de efluentes, sendo buscadas referências internacionais que auxiliem na tomada de decisão. Entretanto, uma vez que o reúso de efluente passou a ser discutido em todo o mundo, estimulou-se a produção de algumas legalizações estaduais e normas que visam regulamentar a prática.

Em 1981, no Brasil, foi instaurada a Política Nacional do Meio Ambiente, dando ao país base legal para tratar as questões ambientais. Junto a isso, incentivou-se a pesquisa de tecnologias para promover a proteção dos recursos ambientais e o uso racional da água (ALMEIDA, 2011).

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH nº 54/2005, tem como finalidade estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água e dá outras providências (BRASIL, 2005). Todavia, o documento carece de padrões de qualidade do efluente tratado de acordo com as práticas de reúso estabelecidas nele. Entretanto, destaca-se a seguinte afirmação em seu Art. 3º, parágrafo 2º: “As diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso definidas nos incisos deste artigo serão estabelecidos pelos órgãos competentes” (BRASIL, 2005).

Outrossim, a NBR 16783/2019 dispõe sobre o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Ela 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 (ABNT, 2019). Por conseguinte, essa Norma apresenta critérios e parâmetros para fins específicos, como: descarga de bacias sanitárias e mictórios, independentemente do sistema de acionamento; 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 água e resfriamento de telhados.

É importante entender que, sendo o Brasil um país continental, com grande variação de tempo e clima, o ideal é que exista uma lei federal que contemple e avalie esses aspectos para criar parâmetros e limites de qualidade. Contudo, tendo em vista que essa normativa ampla não existe, os estados podem iniciar a criação de leis e normas.

Ao nível sub-federal, alguns estados brasileiros, como São Paulo, Ceará, Bahia, Minas Gerais e o Rio Grande do Sul, além do Distrito Federal, apresentam documentos reguladores

com definições de padrões de Água para Reúso (ApR) em relação às demandas representadas (SANTOS *et al.*, 2020).

A Tabela 4 apresenta um resumo prático de normas, leis e resoluções existentes no Brasil.

Tabela 4 - Padrões e aspectos mais relevantes apresentados nos documentos reguladores no Brasil

Regulamentos	Padrões de reúso	Observações	Aplicabilidade e aspectos relevantes
Bahia Resolução CONERH 75/2010	- Categoria A - Coliformes: 10 ³ Org/100 mL (Ct); n° Categoria B - Coliformes: 10 ⁴ Org/100 mL (Ct).	Categoria A: irrigação, inclusive hidroponia, de qualquer cultura incluindo produtos alimentícios consumidos crus; Categoria B: irrigação, inclusive hidroponia, de produtos alimentícios não consumidos crus e não alimentícios, forrageiras, pastagens, árvores, revegetação e recuperação de áreas degradadas.	Fins agrícolas e/ou florestal; sem restrição de nível de tratamento; características recomendadas pela OMS; apresenta responsabilidades para o produtor da água para reúso.
Ceará Resolução COEMA 02/2017	- Urbano - Coliformes: 5000 Org/100 mL (Ct); Agrícola/florestal-a - Coliformes: ND Org/100 mL (Ct); n° Agrícola/florestal-b - Coliformes: 1000 Org/100 mL (Ct); Ambiental - Coliformes: 10000 Org/100 mL (Ct); Aquicultura - Coliformes: 1000 Org/100 mL (Ct).	Urbano: irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio em área urbana; Agrícola/florestal-a: culturas a serem consumidas cruas, cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação Agrícola/florestal-b: demais culturas; Ambiental: implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; Aquicultura: criação de animais e cultivo de vegetais aquáticos.	Voltado para lançamento de efluentes, reúso direto de água, reúso externo (agrícola/florestal, urbano, ambiental, industrial e aquicultura) e reúso interno; apresenta padrões mais restritivos para agrícola florestal-a.
Distrito Federal - Resolução N° 005, de 09 de maio de 2022	Reúso não potável - Coliformes: 200 NMP/100 mL (E.coli); pH: 6,0 a 9,0; Turbidez: < 5 UT; DBO: > 20 mgO ₂ /L; Cloro residual: Mínimo 0,5 mg/L e máximo de 5,0 mg/L; Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Condutividade elétrica: < 2000 mg/L ou < 3200 uS/cm.	Reúso não potável: descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas; lavagem de veículos, irrigação para fins paisagísticos; e uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos).	Voltado para fins urbanos; Concessionária de abastecimento de água e esgotamento sanitário é a responsável pela análise do projeto e vistoria das instalações para obtenção da carta de aceite.
Minas Gerais - Deliberação Normativa CERH 65/2020	- Agrossilvipastoril amplo - Coliforme: 10 ⁴ Org/100 mL (Ct/E. coli); n° Agrossilvipastoril limitado - Coliformes: 10 ⁶ Org/100 mL (Ct.E. coli); Urbano amplo - Coliformes: 10 ³ Org/100 mL (Ct/E. coli); Urbano limitado - Coliformes: 10 ⁴ Org/100 mL (Ct/E. coli).	Agrossilvipastoril amplo: fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão; Agrossilvipastoril limitado: fertirrigação superficial ou localizada, evitando contato da água para reúso com o produto alimentício; Urbano amplo: lavagem de pátios, logradouros ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; descargas sanitárias; Urbano limitado: lavagem de veículos especiais e externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias (para este, o limite de coliformes termotolerantes ou E. coli é de 10 ⁷ Org/100 mL);	Voltado para fins agrossilvipastoris, urbanos, ambientais e industriais; padrões mais flexíveis; objetivou a aplicação e o incentivo da prática; padrões para reúso em fertirrigação; apresenta responsabilidades para o produtor, distribuidor e usuário da água para reúso.

Regulamentos	Padrões de reúso	Observações	Aplicabilidade e aspectos relevantes
Programa Interatuas 2018	Agrícola restrito - Coliformes: 10^3 (Ct); DBO: 30 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L; Agrícola irrestrito - Coliformes: 10 (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 15 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L; Urbano restrito - Coliformes: 10^3 (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 30 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L; Urbano irrestrito - Coliformes: 10 (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 30 mg/L; Cloro residual: 1,0 mg/L; Industrial – Coliformes : 10^3 (Ct) Org/100 mL; Ambiental - Coliformes: 10^3 (Ct) Org/100 mL; DBO: 60 mg/L; Aquicultura - Coliformes: 10^3 (Ct) Org/100 mL; DBO: 60 mg/L.	Agrícola irrestrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve rente ao solo sem processamento prévio; Agrícola restrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve distante do solo sem processamento prévio; após processamento prévio; não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas; Urbano irrestrito: irrigação paisagística, bacias sanitárias e lavagem de logradouros; Urbano restrito: irrigação paisagística e outros usos em áreas restritas, tais como desobstrução de redes de esgoto, construção civil, lavagem de veículos e combate a incêndio; Industrial: aplicação em vários processos e atividades industrial; Ambiental: aplicação em lagoas urbanas, manutenção de wetlands e aumento da disponibilidade hídrica para fins ambientais; Aquicultura: criação de peixe ou cultivo de vegetais aquáticos.	Voltado para fins agrícolas, urbano, ambiental, industrial e aquicultura; apresenta níveis de tratamento mínimos; recomendações de licenciamento para cada tipo de reúso; considera as dimensões ambientais, econômico-financeira, social e cultural e de saúde pública
São Paulo - Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020	Classe A - Coliformes: ND (Ct/E. coli); Turbidez: 2 NTU; DBO: 10 mg/L; Cloro residual: >1,0 mg/L; Classe B - Coliformes: 10^3 Org/100 mL (Ct); Agrícola/florestal - Coliformes: 10^4 Org/100 mL (Ct).	Classe A (Irrestrito): irrigação paisagística; lavagem de logradouros e espaços públicos e privados; construção civil; desobstrução de galerias; lavagem de veículos; combate a incêndio; Classe B (Restrito): exclusivamente a todos os anteriores, exceto combate a incêndio.	Fins urbanos; restritivos em relação aos padrões; tratamento mínimo secundário, desinfecção e filtração; apresenta atribuições para produtor e usuário da água para reúso; identificação dos veículos e tanques.
Rio Grande do Sul - Resolução COSEMA nº 419/2020	Urbano Classe A - Coliformes: 200 Org/100 mL (Ct); Cloro residual: < 1,0 mg/L; Urbano Classe B - Coliformes: 10^3 Org/100 mL (Ct); Agrícola/florestal - Coliformes: 10^4 Org/100 mL (Ct).	Urbano Classe A (irrestrito): irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros e veículos; Urbano Classe B (restrito): irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, abatimento de poeira, construção civil, ETEs e desobstrução de tubulações; Agrícola/florestal: irrigação de qualquer cultura, exceto frutos, hortaliças, raízes e tubérculos com contato direto com o solo ou com a água para consumo humano na forma crua.	Voltado para fins urbanos, industriais, agrícola e florestais; licenciamento ambiental para gerador ou usuário da água para reúso.

Fonte: Rezende, 2022. Adaptado de Santos e Lima, 2022.

3.4 Potenciais aplicações do efluente tratado em função de sua qualidade

Um processo de avaliação do risco é completado com a definição de um plano de gestão do risco, de modo a garantir que o nível de risco ao longo da vida útil de projeto de reutilização seja mantido e o menor possível (APA, 2019). Para além disso, o tipo de reúso pode abranger desde a simples recirculação de água de enxágue da máquina de lavagem, com ou sem tratamento, para os vasos sanitários, até uma remoção em alto nível de poluentes para lavagens de carros e ambientes (ABNT, 1997).

As seguintes classes de reúso local foram definidas na NBR 13.969/1997, norma cancelada e substituída pela NBR 17.076/2024, em função de parâmetros de qualidade físico-químicos e microbiológicos:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferiores a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L
- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.
- Classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes termotolerantes inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão;
- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Entretanto, após ser substituída, o uso da NBR 13.969 de 2017 apresenta riscos e a nova Norma publicada em 2024 não apresenta mais as divisões apresentadas acima o que representa um retrocesso na prática de reúso.

De acordo com a ABNT (2019), os sistemas de reúso de água necessitam de projeto, execução e gestão adequados para assegurar a qualidade da água a ser fornecida, para prevenir

os riscos de contaminação do meio ambiente e preservar, acima de tudo, a saúde do usuário final. Dessa forma, a Norma supracitada estabelece os seguintes critérios para o reúso de água:

- O valor do pH deve ser superior a 6,0 e inferior a 9,0 para todas as amostras;
- Pode ser realizado ensaio para detectar a ausência ou presença de bactérias E.Coli. Caso seja detectada presença, realizar análise de contagem, se a amostra possuir valor menor que 200 NMP/100mL (número mais provável por 100 mL), o requisito está atendido;
- O valor máximo de turbidez deve ser 5 UT (unidades de turbidez) para todas as amostras;
- O valor máximo de DBO_{5,20} deve ser de 20 mgO₂/L para todas as amostras;
- A concentração de cloro residual não pode ser inferior a 0,5 mg/L e não pode ser superior a 5,0 mg/L. Recomenda-se que a concentração de cloro residual livre esteja entre 0,5 mg/L e 2,0 mg/L;
- SDT/conductividade elétrica: o valor máximo de sólidos dissolvidos totais (SDT) deve ser de 2 000 mg/L. Dada que é conhecida a correlação diretamente proporcional entre SDT e condutividade elétrica, o monitoramento da concentração de sólidos dissolvidos pode ser realizado indiretamente pela análise de condutividade a partir da relação entre condutividade/SDT = 1,6 e limite de condutividade de 3 200 µS/cm;
- A concentração máxima de carbono orgânico total (COT) deve ser 4 mg/L. Esse limite é aplicável somente para os casos de água não potável oriunda de rebaixamento de lençol freático, uma vez que pode apresentar indícios de contaminação do solo por compostos orgânicos;
- Considerar outros parâmetros de qualidade em função dos materiais e equipamentos de acordo com a orientação do fabricante.

Algumas instituições e grupos de pesquisa propõem critérios de qualidade de água para reúso urbano, como o Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo – SINDUSCON-SP (2005) em sua publicação intitulada “Conservação e Reúso da Água em Edificações”. Assim como a NBR 13969/97, as águas de reúso são classificadas segundo seus usos preponderantes (REZENDE, 2017):

- Classe 1: Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.), lavagem de roupas, lavagem de veículos.
- Classe 2: Usos associados a construção civil (lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira).
- Classe 3: Irrigação superficial de áreas verdes e rega de jardim.

- Classe 4: Resfriamento de equipamentos de ar-condicionado.

Por conseguinte, os padrões e limites de qualidade do efluente tratado para reúso Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4 estão apresentados, respectivamente, na Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 5 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 1.

Classe 1	
Parâmetros	Concentrações
Coliformes termotolerantes	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2 UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrato (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total (mg/L)	$\leq 0,1$ mg/L
Sólidos suspensos totais (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólidos dissolvidos totais (SDT) (mg/L)	≤ 500 mg/L

Fonte: SINDUSCON-SP, 2005.

Tabela 6 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 2.

Classe 2	
Parâmetros	Concentrações
Coliformes termotolerantes	≤ 1000 /mL
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Sólidos suspensos totais (SST) (mg/L)	30 mg/L

Fonte: SINDUSCON-SP, 2005.

Tabela 7 - Parâmetros básicos para água de reúso Classe 3.

Classe 3			
Parâmetros			Concentrações
pH			Entre 6,0 e 9,0
Salinidade			0,7 < EC 9ds/m) < 3,0
			450 < SDT (mg/L) < 1500
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
		Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias		0,7 mg/L
	Regas de jardim e similares		3,0 mg/L
Nitrogênio (mg/L)			5 - 30 mg/L
DBO (mg/L)			< 20 mg/L
Sólidos suspensos totais (SST) (mg/L)			< 20 mg/L
Turbidez (UT)			< 5 UT
Cor aparente (UH)			< 30 UH
Coliformes termotolerantes (mL)			≤ 200/ 100mL

Fonte: SINDUSCON-SP, 2005.

Tabela 8 - Variáveis de qualidade de água recomendados para o uso em torres de resfriamento, Classe 4.

Classe 4		
Variável	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica	50	50
Alumínio	Sem referência	0,1
Ferro		0,5
Manganês		0,5
Amônia		1
Sólidos dissolvidos totais	1000	500
Cloretos	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos suspensos totais	5000	100
pH	5 - 8,3	6,8 - 7,2
Coliformes totais (NMP/100mL)	Sem referência	2,2
Bicarbonato	600	24
Sulfato	680	200
Fósforo	Sem referência	1
Cálcio	200	50
Magnésio	Sem referência	30
O ₂ dissolvido	Presente	Sem referência
DQO	75	75

Fonte: SINDUSCON-SP, 2005.

O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) também classificou o reúso de efluentes em sua publicação “Reúso das Águas de Esgoto Sanitário, Inclusive Desenvolvimento de Tecnologias de Tratamento Para este Fim”. Os seguintes usos foram classificados (PROSAB, 2006):

- Usos irrestritos: irrigação (campos de esportes, parques, jardins e cemitérios etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.
- Usos restritos: irrigação (parques, canteiros de rodovias etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais e usos na construção (compactação do solo, abatimento de poeira etc.).
- Usos predial: descarga de toaletes. Para efluentes com concentrações de DBO e NO₃ inferiores a 30 e 50 mg/L, respectivamente, e potencial de oxirredução igual ou superior a 45 mV, não é esperada a geração de odores no sistema de armazenamento.

Os riscos para a saúde pública relacionados com a rega paisagística, foco deste trabalho, conforme mencionado por Monte e Albuquerque (2010), incluem principalmente:

- Ligações cruzadas com a rede de água potável: Isso ocorre quando há uma conexão indevida entre a água usada para a rega e a rede de água potável, o que pode resultar na contaminação da água potável com água utilizada para a rega, a qual pode conter substâncias e/ou microrganismos nocivos;
- Contacto humano com a água de rega devido a plantas, solo, superfícies molhadas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada;
- Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão: Estes aerossóis contendo microrganismos podem ser inalados pelas pessoas próximas durante a rega, o que pode potencialmente causar problemas respiratórios ou de saúde, especialmente em espaços públicos frequentados.

Estes são aspectos importantes a serem considerados na gestão e regulamentação dos sistemas de rega paisagística para garantir a segurança e a saúde pública.

3.5 Microbiologia dos Efluentes

Em termos de avaliação da qualidade da água, os microrganismos assumem um papel importante dentre os seres vivos, devido à sua predominância em determinados ambientes, à sua atuação nos processos de depuração dos despejos ou à sua associação com doenças ligadas à água (VON SPERLING, 1997).

Com isso, entende-se que os microrganismos são essenciais à vida. Ademais, nem todos os seres microbiológicos são causadores de doenças, mas, em alguns casos, a presença de alguns deles pode indicar a ocorrência de outros seres patogênicos. Sendo assim, os microrganismos de maior interesse estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Principais microrganismos de interesse

Microrganismo	Descrição
Bactérias	Organismos monera unicelulares Apresentam-se em várias formas e tamanhos São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais
Algas	Organismos autotróficos, fotossintetizantes, contendo clorofila Importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento de esgotos Em lagos e represas, podem proliferar em excesso, causando uma deterioração da qualidade da água
Fungos	Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos Também de grande importância na decomposição da matéria orgânica Podem crescer em condições de baixo pH
Protozoários	Organismos unicelulares sem parede celular A maioria é aeróbia ou facultativa alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos Alguns são patogênicos
Vírus	Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto
Helmintos	Animais superiores Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças

Fonte: Silva e Mara, 1979, Tchobanoglous e Schroeder, 1985, Metcalf e Eddy, 1991, Von Sperling, 1997.

Para os perigos microbiológicos, indicadores de contaminação fecal são comumente utilizados, como a *E. coli*, sem prejuízo de poderem ser utilizados outros (e.g., ovos de parasitas intestinais ou enterococos) (APA, 2019). Em termos de microbiologia, os perigos mais comuns associados às águas residuais e potenciais danos encontram-se descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Microrganismos comuns encontrados em efluentes e danos ou doenças causadas aos seres humanos

Organismos	Microrganismos patogênicos	Doenças provocadas
Bactérias	Campylobacter	Gastroenterite, artrite reativa e síndrome de Guillain-Barré
	Escherichia coli patogênica	Gastroenterite e septicemia, síndrome hemolítico-urémico
	Salmonella	Gastroenterite e septicemia, síndrome hemolítico-urémico
	Shigella	Shigelose (disenteria bacilar)
	Vibrio cholerae	Cólera
Virus	Enterovírus	Gastroenterite, anomalias coronárias, meningite, doenças respiratórias, distúrbios nervosos, outras
	Adenovírus	Doenças respiratórias, infecções oculares, gastroenterite
	Rotavírus	Gastroenterite
Protozoários	Entamoeba	Amebíase (disenteria amebiana)
	Giardia	Giardíase (gastroenterite)
	Cryptosporidium	Criptosporidíase, diarreia, febre
Helmintos	Ascaris	Ascariíase (infecção por vermes redondos ou lombrigas)
	Ancylostoma	Ancilostomíase (infecção por ancilóstomos)
	Necator	Necatoríase (infecção por vermes redondos ou lombrigas)
	Trichuris	Tricuríase (infecção por nematoides)

Fonte: APA, 2019.

Logo, ao entender que não é possível separar os microrganismos patógenos dos não patógenos, e que eles são de extrema importância à vida e ao estabelecimento de tratamento biológico de esgoto, é ideal a implantação de uma etapa de desinfecção ao final da estação de tratamento para neutralizar ou desestabilizar os microrganismos presentes, evitando, assim, aqueles que são causadores de doenças.

4 AVALIAÇÃO SEMIQUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS NO REÚSO DE EFLUENTES

Ao contrário da avaliação quantitativa, que requer dados precisos e frequentemente difíceis de obter sobre a concentração exata de microrganismos, o método semiquantitativo permite uma avaliação mais flexível, o que é especialmente útil quando dados específicos não estão disponíveis ou são limitados. Nele, deve-se ter, sempre em conta que há um grau de incerteza associado, não quantificável (e.g., condições climáticas adversas, atos de vandalismo etc.), o qual tem de ser incorporado no processo, de modo a aumentar a confiança das decisões (APA, 2019).

De maneira específica, a avaliação qualitativa ou semiquantitativa firma-se na utilização da matriz de risco, que avalia diferentes riscos associados à qualidade de água, envolvendo uma avaliação da probabilidade de ocorrência de um perigo e da sua gravidade ou consequência, caso aconteça (LIMA *et al.*, 2021). Por sua vez, a avaliação quantitativa combina o conhecimento científico sobre a presença e a natureza dos agentes patogênicos, os seus potenciais destino e transporte no ciclo da água e os cenários de exposição referentes aos intervenientes, e os seus efeitos na saúde que resultam dessa exposição (WHO, 2016).

Complementa-se ainda que a avaliação do risco se desenvolve ao longo de quatro etapas, a fim de solucionar questionamentos imprescindíveis para a implantação segura de um sistema de reúso de efluente tratado (APA, 2019):

- i) identificação do perigo;
- ii) identificação das vias de exposição para os diferentes receptores;
- iii) cenarização da exposição de acordo com a dose;
- iv) caracterização do risco.

Entende-se também que, para a aplicação da avaliação semiquantitativa, quanto mais descritos forem os cenários, suposições e demais considerações, mais seguro será o resultado da aplicação. Sendo assim, de acordo com a APA (2019), quatro perguntas fundamentam as etapas do método:

- Quais agentes que podem provocar efeito adverso?
- Quais os receptores sensíveis, passíveis de serem afetados através das vias de exposição clássicas? Ingestão, inalação e adsorção dérmica?
- Quais os tipos de exposição sob diferentes condições e qual a relação entre a dose e a incidência de doença nos seres humanos?
- Qual a estimativa do incidente sobre uma dada população?

5 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O condomínio residencial Horto da Serraria localiza-se na parte alta do município de Maceió, Alagoas. O empreendimento conta com 09 blocos residenciais, com 04 pavimentos e 16 unidades residenciais em cada bloco, totalizando 144 unidades residenciais de baixo padrão. Ademais o empreendimento tem uma área de 18.750 m², sendo esta composta por cerca de 600 m² de áreas verdes ou vegetadas. A área e localização do condomínio pode ser observada na Figura 4.



Figura 4 - Área do Condomínio Residencial Horto da Serraria.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A respeito das áreas vegetadas presentes no condomínio, esta corresponde apenas cerca de 3,2% da área total dele, sendo composta em sua maior parte por gramíneas e arbustos, mas há também árvores com altura superior a 1m. Essas áreas vegetadas estão presentes nas entradas dos blocos, nas áreas recreativas, na entrada do condomínio e, em pequena parte, próximas aos estacionamentos. As áreas vegetadas presentes no condomínio podem ser observadas na Figura 5 a 12.



Figura 5 - Jardim da faixa do condomínio.



Figura 6 - Jardim de entrada no condomínio.



Figura 7 - Jardins entre os blocos do condomínio.



Figura 8 - Jardins entre os blocos do condomínio.



Figura 9 - Parque de lazer.



Figura 10 - Parque de lazer.



Figura 11 - Torneira de alimentação para irrigação.

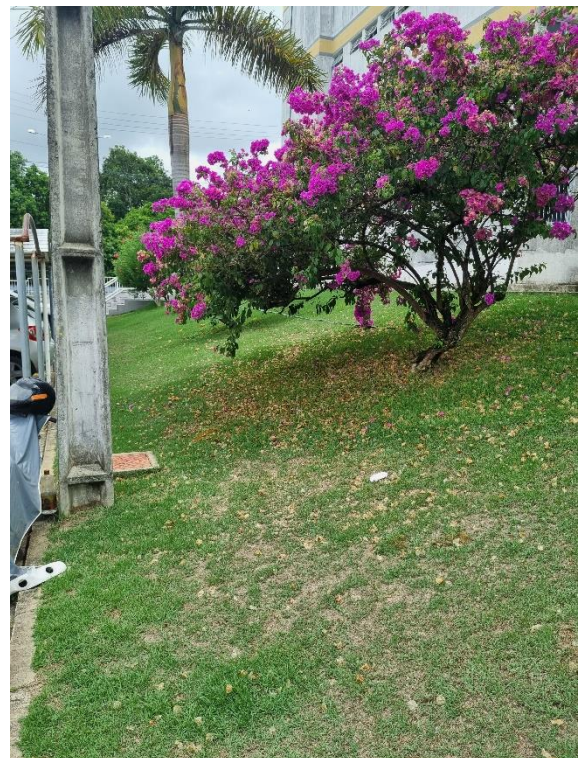


Figura 12 - Jardim do estacionamento do condomínio.

O sistema de tratamento da ETE do condomínio utiliza a tecnologia de lodos ativados com aeração prolongada. Sendo assim, o sistema contempla as seguintes etapas: tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia) (Figura 13), tanque de aeração (reator aeróbio) (Figura 14), seguido de um decantador secundário (Figura 15), um reservatório de armazenamento do lodo (Figura 16) e um tanque de contato para desinfecção (Figura 17). Além disso, a estação de tratamento conta com três dispositivos complementares: um tanque de armazenamento de cloro (Figura 19), uma bomba dosadora de cloro (Figura 20) e uma calha Parshall para medir a vazão de efluente tratado (Figura 18). Destaca-se ainda que a ETE foi dimensionada com vazão média estimada de 70000 L/dia, de acordo com informações fornecidas pela empresa responsável pela operação e manutenção da ETE.



Figura 13 - Unidade de tratamento preliminar.



Figura 14 - Tanque de aeração.



Figura 15 - Decantador secundário.



Figura 16 - Tanque de armazenamento de lodo.



Figura 17 - Tanque de contato.



Figura 18 - Calha Parshall para efluente tratado.



Figura 19 - Tanque de armazenamento de cloro.



Figura 20 - Bomba dosadora de cloro.

6 MÉTODOS

Este trabalho aplica a Metodologia Semiquantitativa do Risco Microbiológico (MSqRM) ou Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM) como forma de viabilizar, ou não, o reúso de efluente tratado para irrigação de áreas paisagísticas. Estando a prática de reúso associada à saúde pública, verifica-se também a qualidade do efluente produzido no Condomínio Horto da Serraria perante à legislação e às normas vigentes sobre reúso de água. De maneira geral a ASqRM é um método simplificado e sua aplicação divide-se em quatro etapas, conforme Figura 21.

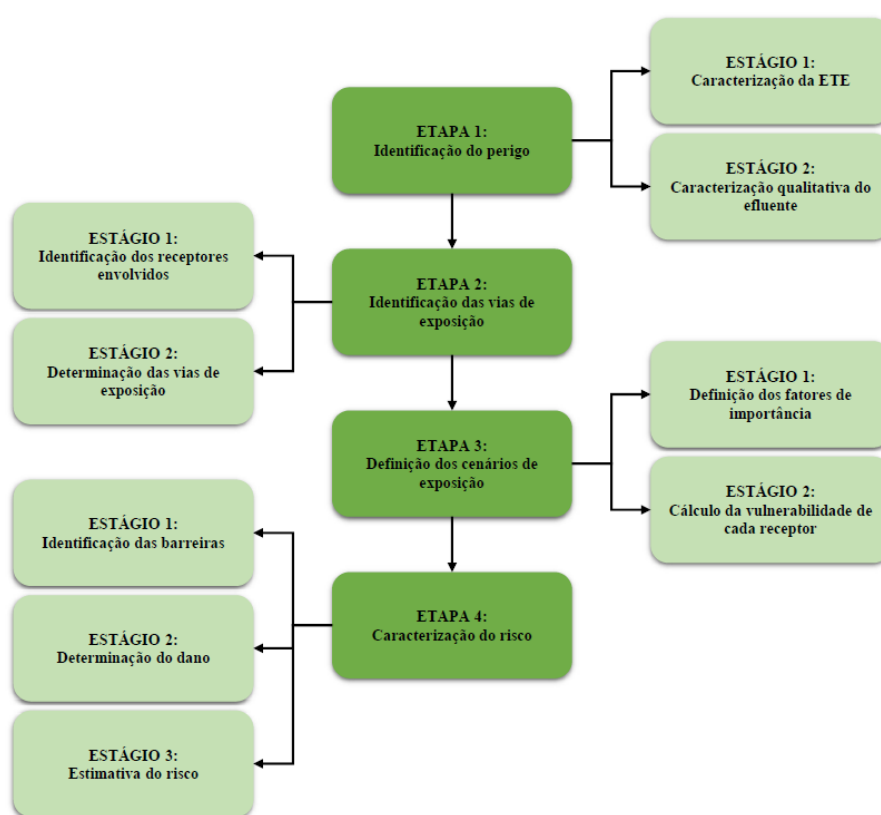


Figura 21 - Fluxograma das etapas e estágios definidos para a aplicação da Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

6.1 Levantamento de dados

Para realizar o levantamento de dados e cumprir o primeiro objetivo específico do presente trabalho, foram recolhidas informações do funcionamento do condomínio a partir de formulários eletrônicos (*Google Forms*), além de visitas ao local para auxiliar a compreensão do sistema e possibilitar a identificação de barreiras que podem ser implantadas. Quanto aos formulários eletrônicos, esses foram respondidos pelo síndico do condomínio.

6.2 Identificação do perigo

A etapa inicial é a identificação do perigo (caracterizado como algo que possui potencial de causar dano), que, nesse caso, associa-se aos microrganismos presentes no efluente. Uma vez que existem diversos microrganismos patógenos no esgoto sanitário, faz-se necessário utilizar um indicador comum a todo e qualquer efluente sanitário. A *Escherichia coli*, ou *E. coli*, por ser uma bactéria presente no trato intestinal de animais de sangue quente e ter uma alta sensibilidade a variações de ambiente, indica com facilidade a presença de outros microrganismos patógenos que podem causar danos aos indivíduos que ingerirem ou tiverem contato.

A classificação do perigo associa-se também à tecnologia de tratamento, já que, quanto mais avançada ela for, maior a eficiência e menor o número de microrganismos. Dessa forma, a Tabela 11 auxilia na identificação do perigo para a ASqRM, sendo ele quantificado numericamente de 1 a 9, onde 1 representa menor perigo e 9 representa um maior perigo.

Tabela 11 - Classificação do perigo baseada nos tipos de tratamento de efluente e consequentemente qualidade microbiológica

Tipo de tratamento	Nível	Presença de <i>E. coli</i> (NMP/100ml)	Classificação (P)
Secundário	V	$\geq 10E4$	9
Secundário + desinfecção	IV	$10E3 < E.coli < 10E4$	7
Avançado	III	$10E2 < E.coli < 10E3$	5
Secundário + desinfecção + pós-cloração	II	$10E1 < E.coli < 10E2$	3
Avançado + pós-cloração	I	$\leq 10E1$	1

Fonte: APA, 2019.

6.2.1 Caracterização da Estação de Tratamento de Esgoto

Como apresentado no item 6.1, o perigo associa-se indiretamente ao modelo e à tecnologia de tratamento do efluente. Foi, então, realizada uma análise e uma caracterização da ETE do Condomínio Residencial Horto da Serraria, tornando possível aplicar a Tabela 11 e seguir com os passos para implementação da ASqRM.

Destaca-se também que os conhecimentos a respeito do tratamento de esgoto se encontram bem disseminado e em grande transformação, então, mesmo que um modelo de

tratamento seja aplicado como o LAC (Lodos Ativados Convencional), o projetista pode fazer adaptações e acrescentar outras etapas de tratamento para fins específicos, o que torna essa etapa ainda mais necessária para o trabalho.

6.2.2 Caracterização qualitativa do efluente

Tratando-se ainda sobre a identificação do perigo, não basta caracterizar uma ETE e assumir que seu comportamento seja constante em todo o tempo, pois mudanças no tempo de detenção (em função dos picos de vazão), como também de tempo e clima, podem modificar a qualidade do efluente de uma ETE. Entretanto, uma das vantagens da ASqRM é a viabilidade do uso quando não há dados suficientes ou pela impossibilidade do levantamento dos dados. Dessa forma, baseando-se na Tabela 11, a ETE utilizada no condomínio é composta de Tratamento secundário + desinfecção (E. coli entre $10E3$ - $10E4$ NMP/100 mL), sendo assumido esse comportamento durante todo o seu funcionamento, exceto para casos em que etapas sejam acrescentadas ou descontinuadas na ETE.

6.3 Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores

Nessa etapa, serão identificados os receptores que possivelmente estarão susceptíveis à exposição, por meio de três principais vias bem descritas na APA (2019): ingestão, inalação e adsorção dérmica, podendo esta última ser de forma direta ou indireta. Sendo assim, esta etapa será dividida em dois passos descritos a seguir.

6.3.1 Identificação dos receptores envolvidos

Os receptores são todos os seres vivos que possuem algum risco na prática de reúso, sejam os seres humanos, os animais e/ou a vegetação, porém no presente trabalho são analisados apenas os riscos e danos sofridos pelos seres humanos. É importante salientar que, para os seres humanos, existe uma ligação direta entre o risco associado à faixa etária e às atividades realizadas pelos indivíduos. Essa afirmação é feita pela APA (2019), com a premissa de que existe uma diferença crescente dos danos sofridos por crianças e adolescente, adultos e idosos, como também de que indivíduos que realizam atividades de contato direto com o efluente para reúso (trabalhadores) estão mais expostos do que indivíduos que realizam contato indireto.

Logo, os receptores humanos são divididos em três principais grupos: moradores, trabalhadores e visitantes. Além disso, o grupo de moradores e trabalhadores será separado por faixa etária entre crianças e adolescentes (quando aplicável), adultos e idosos.

6.3.2 Receptores x vias de exposição

A inalação por seres humanos acontece de forma direta (por aspiração da água de reúso, por exemplo, em casos de irrigação por aspersão) e de forma indireta (por meio de animais domésticos que levam as gotículas para esses ambientes). Já a adsorção se dá por meio do contato com superfícies molhadas ou úmidas, por ocorrência direta ou indireta (APA, 2019).

Para esse trabalho, são assumidas as três vias de exposição (ingestão, inalação e adsorção) para os seres humanos e animais, com ocorrências diretas ou indiretas. Já para a vegetação, entende-se apenas que a exposição por adsorção dérmica é possível.

6.4 Cenarização da exposição de acordo com a dose

Quanto mais discretizados e específicos forem os cenários de exposição, mais segura é a ASqRM, sendo imprescindível a exposição de todos os cenários possíveis, de acordo com a APA (2019). Além disso, a indicação desses cenários independe da probabilidade de sua ocorrência. Com isso, eles são definidos a partir da visita que foi realizada ao condomínio e da identificação do comportamento dos receptores, como horários de rega, horários de maior transitabilidade etc.

6.4.1 Atribuição dos fatores de importância para as vias e os cenários de exposição

Uma vez que os cenários de exposição forem estabelecidos, são definidos fatores de importância para cada um dos cenários e das vias de exposição, esses fatores são quantificados numericamente de 1 a 9, onde 1 representa menor importância e 9 maior importância. Entende-se, neste contexto, que essa etapa da ASqRM tem um elevado grau de incerteza, devido à ausência de dados sobre as infecções causadas pelo reúso não potável de efluente.

A Tabela 12 será aplicada para definir os fatores de importância dos cenários de exposição; já a Tabela 13 será aplicada, analogamente, para as vias.

Tabela 12 - Fator de importância aplicável a cada cenário de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$)

Nível de importância	$f_{i \text{ cen exp}}$	Observações
Importância baixa	1	Ausência de via de infecção demonstrada
Importância fraca	3	Ausência de dados sobre a via de infecção
Importância essencial ou forte	5	Eventual via de infecção (possível caso de contaminação)
Importância demonstrada	7	Via de infecção possível
Importância absoluta	9	Via de infecção demonstrada
Importância entre dois níveis de decisão	2,4,6 ou 8	Dúvida entre dois níveis

Fonte: Adaptado de APA, 2019.

Tabela 13 - Fator de importância aplicável a cada via de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$)

Via de exposição	$f_{i \text{ via exp}}$	Justificativa
Ingestão direta	9	Como via de importância absoluta
Ingestão indireta (animais domésticos)	9	
Inalação direta	9	Como via de importância absoluta em sistema de rega por aspersão
Inalação indireta (animais domésticos)	9	
Adsorção direta	3	Como via de fraca importância devido à ausência de dados de doença ou infecção através desta via
Adsorção indireta (animais domésticos)	3	
Adsorção indireta (vegetação)	3	

Fonte: Adaptado de APA, 2019.

6.4.2 Vulnerabilidade do receptor

Nesta etapa, será calculado e analisado o cenário de cada receptor, por equações já definidas na ASqRM e descritas pela APA (2019). A Equação 1 caracteriza a soma da relação entre o fator de importância e os cenários de exposição de cada receptor.

$$\sum (f_{i \text{ via exp}} \times n^{\circ} \text{ cen exp}) \quad \text{Equação 1}$$

Na qual:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição (Tabela 13);

$n^{\circ} \text{ cen exp}$ = número de cenários aplicáveis a cada receptor.

A Equação 2 caracteriza a soma da relação entre o fator de importância das vias de exposição e o fator de importância dos cenários de exposição.

$$\sum (f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}}) \quad \text{Equação 2}$$

Na qual:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição;

$f_{i \text{ cen exp}}$ = fator de importância de cada cenário de exposição.

A Equação 3 define o fator de normalização que é a relação entre o maior fator de importância e a Equação 1.

$$f_{\text{normalização}} = f_{i \text{ máx}} \times \sum (f_{i \text{ via exp}} \times n^{\circ} \text{ cen exp}) \quad \text{Equação 3}$$

Na qual:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição;

$f_{i \text{ máx}}$ = valor máximo de escala de fatores de importância;

$n^{\circ} \text{ cen exp}$ = número de cenários aplicáveis a cada receptor.

Por fim, define-se a vulnerabilidade de cada receptor a partir da Equação 4, que é a razão entre a Equação 2 e Equação 3.

$$V_{\text{receptor}} = \frac{\sum (f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}})}{f_{\text{normalização}}} \quad \text{Equação 4}$$

Na qual:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição;

$f_{i \text{ cen exp}}$ = fator de importância de cada cenário de exposição;

$f_{\text{normalização}}$ = fator de normalização;

6.5 Caracterização do risco

O risco é definido na APA (2019) como a possibilidade de ocorrência de danos decorrentes de um determinado perigo, em um dado período temporal ou sob certas circunstâncias. De maneira prática, o risco é a relação entre o perigo e as consequências (Vulnerabilidade x Dano); dessa forma, o risco será definido a partir da execução de quatro passos.

6.5.1 Identificação das barreiras

O primeiro passo para minimizar os riscos é a utilização de barreiras, que, normalmente, são físicas. Essas são definidas a partir da finalidade do reúso (irrigação de áreas verdes), do comportamento dos receptores e da possibilidade de aplicação.

Destaca-se que, quanto maior o número de barreiras, menor o risco. Além disso, o risco calculado aplicando-se barreiras consecutivas é inferior à soma do risco calculado aplicando barreiras individuais. Sendo assim, será aplicado o maior número de barreiras consecutivas possíveis.

As barreiras consideradas para esse trabalho são definidas a partir de uma caracterização e de uma visita ao Condomínio. Entretanto, o processo seguirá dados e barreiras já estabelecidas em alguns artigos e publicações, com adaptações cabíveis para o presente estudo. A Tabela 14 apresenta barreiras comuns aplicadas em sistemas de reúso de água na irrigação de culturas alimentícias.

Tabela 14 - Barreiras e número de barreiras equivalentes aplicáveis à pesquisa.

Tipo de barreira	Aplicação	Redução de patógenos (Log)	Número de barreiras equivalentes
Irrigação por gotejamento	Irrigação por gotejamento com crescimento próximo ao solo (25 cm), crescimento distante do solo (50 cm) ou subterrâneo	2 - 6	1 - 3
Irrigação por aspersão	Irrigação por aspersão e micro aspersão de culturas de crescimento, próximo do solo (25 cm) ou de árvores frutíferas distantes do solo (50cm)	2 - 4	1 - 2
Cloro residual	Desinfecção que garanta concentração residual menor que < 1 mg/L (baixo nível) ou que garanta concentração residual maior que > 1 mg/L (alto nível)	2 - 4	1 - 2
Restrição do acesso	Restrição de entrada no local irrigado por 1 dia ou mais após a irrigação ou 5 dias ou mais após a irrigação.	0,5 a 2 – 2 a 4	1 - 2

Fonte: Adaptado de ISO (2020) e WHO (2006).

6.5.2 Determinação do Dano

Esse passo analisa a severidade do dano causado e a probabilidade de falha de cada barreira admitida no passo anterior. Para o presente trabalho, será adotada a matriz de dano apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Matriz de determinação do dano parcial para cada barreira

Severidade dos danos	Probabilidade de a barreira falhar				
	Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
Insignificante	1	1	2	2	3
Fraco	1	2	4	4	5
Moderado	2	4	4	6	7
Forte	2	4	6	8	9
Severo	3	5	7	9	9

Fonte: Adaptado de Rebelo (2020) e Vieira (2018).

Antes de realizar o cálculo do dano global, deve ser quantificado o dano parcial, definido na Equação 5 como o somatório do produto entre o dano individual e o número de barreiras equivalentes. Logo depois será definido o fator de normalização, pela Equação 6, que é o produto entre o maior valor da matriz de dano e o número total de barreiras equivalentes. Por fim, o dano é calculado a partir da razão entre as equações anteriores (Equação 7).

$$\sum (d_i \times n_i) \quad \text{Equação 5}$$

$$f_{\text{normalização}} = (f_{i \text{ máx}} \times n_t) \quad \text{Equação 6}$$

$$Dano = \frac{\sum (d_i \times n_i)}{f_{\text{normalização}}} \quad \text{Equação 7}$$

Na qual:

d_i = danos parciais = severidade dos danos x probabilidade de falha na barreira;

n_i = número de barreiras equivalentes = 3;

n_t = número de barreiras instaladas = 3;

$f_{i \text{ máx}}$ = valor máximo da escala da matriz de dano = 9;

$f_{\text{normalização}}$ = fator de normalização.

6.5.3 Estimativa do risco

O objetivo de uma avaliação do risco é estimar e reduzir o risco de possíveis eventos adversos até um nível considerado como aceitável para a sociedade em geral e para a comunidade local onde se reutilizará a água.

Sendo assim, o risco de cada receptor é calculado a partir da Equação 8 e, posteriormente, é calculado o risco global (Equação 9), que definirá se o reúso é aplicável ou não, de acordo com o enquadramento da Tabela 16.

$$R_{receptor} = Perigo \times Dano \times V_{receptor} \quad \text{Equação 8}$$

$$R_{Global} = \frac{\sum R_{receptor}}{N_{receptores}} \quad \text{Equação 9}$$

Na qual:

$N_{receptores}$ = número de receptores;

$R_{receptor}$ = Risco estimado para cada receptor;

R_{Global} = Risco global.

Tabela 16 - Níveis de Risco Global na escala quantitativa e qualitativa

Níveis do risco	
$0 < R_{Global} < 3$	Risco global desprezível
$3 \leq R_{Global} < 7$	Risco global aceitável
$7 \leq R_{Global} < 9$	Risco global inaceitável

Fonte: Adaptado de Rebelo, 2018.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foi realizada a aplicação da ASqRM, conforme as etapas seguintes.

7.1 ETAPA 1: Identificação do perigo

Entende-se que a identificação do perigo é uma etapa crucial para a ASqRM, de forma que essa deve ser a etapa inicial. Uma vez que a ETE do condomínio residencial está em boas condições aparentes e mantém operação e manutenção contínua, o coeficiente que representará o perigo na prática de reúso do efluente tratado proveniente da ETE supracitada será dado a partir da Tabela 11. Esse perigo corresponde ao sistema de tratamento secundário com desinfecção, na ETE de estudo é feito a partir da adição de cloro, classificado com o fator 7.

7.2 ETAPA 2: Identificação das vias de exposição

7.2.1 Receptores

A área de estudo apresenta uma complexidade dos receptores que estão envolvidos na aplicação do reúso de água. Assim, a fim de possibilitar a aplicação do método, os receptores são divididos em 4 grupos e 3 subgrupos bem definidos.

Para os grupos iniciais destacam-se os colaboradores que exercem serviços de jardinagem, colaboradores que exercem serviços administrativos e de segurança, moradores e visitantes. Entendendo que os colaboradores que têm suas atividades diretamente ligada as áreas vegetadas do condomínio, têm maior risco de contaminação, por sua vez, os moradores e visitantes têm o comportamento semelhante e a mesma probabilidade de contato com as áreas vegetadas, diferindo-se apenas pela frequência que podem estar expostos.

Os subgrupos foram selecionados com a estratégia de definir o nível de vulnerabilidade de cada um deles, dessa forma, para o grupo de colaboradores, são definidos dois subgrupos, um para colaboradores com mais de 50 anos e outro para colaboradores com menos de 50 anos. Ainda que o Estatuto do Idoso em seu Art. 1º determine que os direitos dos idosos sejam adquiridos a partir dos 60 anos, é evidente a dificuldade em encontrar pessoas de tão elevada idade no mercado de trabalho, considerando principalmente as atividades executadas, por motivos de estarem em processo de aposentadoria ou benefício por invalidez. Dessa forma, determinou-se para este trabalho que adultos com 50 anos ou mais apresentam maior vulnerabilidade e menor resistência aos danos.

Para o grupo de moradores e visitantes do condomínio são determinados três subgrupos, um para crianças e jovens com idade menor ou igual a 15 anos, um para jovens e adultos com idade maior que 15 anos e menor que 60 anos e um para idosos com idade maior que 60 anos.

A Tabela 17 apresenta os grupos e subgrupos de receptores escolhidos para o trabalho.

Tabela 17 - Grupos e subgrupos de receptores para a análise dos danos.

Grupo	Subgrupo	Justificativa
Jardineiro	Menos que 50 anos	Por serem adultos apresentam maior resistência.
	Mais que 50 anos	Por conta da idade elevada apresentam menor resistência, ainda que não sejam considerados idosos de acordo com o Estatuto do Idoso.
Administração	Menos que 50 anos	Por serem adultos apresentam maior resistência.
	Mais que 50 anos	Por conta da idade elevada apresentam menor resistência, ainda que não sejam considerados idosos de acordo com o Estatuto do Idoso.
Visitantes	Menos de 18 anos	Por serem crianças e adolescentes apresentam menor resistência. Além disso, podem ter maior dificuldade em respeitar algumas barreiras impostas. Ex: restrição de acesso.
	Entre 18 e 60 anos	Por serem adultos apresentam maior resistência.
	Mais de 60 anos	Por serem idosos apresentam menor resistência. Além disso, podem apresentar maior dificuldade de compreensão do novo sistema de irrigação proposto e estar mais sujeitos aos riscos.
Moradores	Menos de 18 anos	Por serem crianças e adolescentes apresentam menor resistência. Além disso, podem ter maior dificuldade em respeitar algumas barreiras impostas. Ex: restrição de acesso.
	Entre 18 e 60 anos	Por serem adultos apresentam maior resistência.
	Mais de 60 anos	Por serem idosos apresentam menor resistência. Além disso, podem apresentar maior dificuldade de compreensão do novo sistema de irrigação proposto e estar mais sujeitos aos riscos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

7.2.2 Vias de exposição

As vias de exposição dos receptores envolvidos e seus respectivos fatores de importância estão apresentados na Tabela 13.

7.3 ETAPA 3: Definição dos cenários de exposição

7.3.1 Fatores de importância

A cenarização das exposições de cada receptor envolvido é a tarefa mais complexa para a ASqRM, devendo esta contemplar o máximo de ocasiões possíveis para garantir uma boa

aplicação do método e obter resultados coerentes e seguros. Na prática de reúso em questão, a vegetação que seria irrigada não é destinada para o consumo humano, sendo assim o principal cenário de exposição é o contato com a vegetação ou a água de reúso. Além disso, considera-se que animais domésticos ou selvagens podem adsorver a água utilizada e contaminar os receptores. Sendo assim, analisando o Guia para reutilização de água usos não potáveis publicado pela APA 2019, esses foram os cenários de exposição adotados:

1. Ingestão acidental durante a irrigação (via direta);
2. Ingestão intencional a partir do sistema a irrigação (via direta);
3. Ingestão a partir do contato com animais contaminados (via indireta);
4. Inalação de micro gotículas durante a irrigação (via direta);
5. Inalação de micro gotículas a partir de animais contaminados (via indireta);
6. Adsorção por contato com vegetação (via direta);
7. Adsorção por contato com utensílios e ferramentas (via direta);
8. Adsorção por contato com sistema de rega (via direta)
9. Adsorção por contato com outras superfícies (via direta);
10. Adsorção por contato com animais contaminados (via indireta)
11. Adsorção pelo contato com pessoas contaminadas pela vegetação (via indireta).

Para os colaboradores que trabalham com serviços de jardinagem, há um contato direto com as áreas vegetadas e sistema de irrigação. Entretanto, devido à convivência que pode ocorrer com os moradores em seu tempo de atividade há também a possibilidade de contato com eles e seus animais. Sendo assim todos os cenários são aplicáveis. A Tabela 18 apresenta os cenários de exposição associados aos jardineiros e seus respectivos fatores de importância.

Os colaboradores do setor administrativo tais como porteiros, seguranças e técnicos administrativos têm uma menor exposição devido a suas atividades estarem restritas em regiões específicas, podendo ocorrer passeios e vistorias no condomínio. Seu convívio com os moradores também apresenta maior limitação. Dessa forma, a Tabela 19 apresenta os cenários de exposição associados aos colaboradores do setor administrativo e seus respectivo fatores de importância.

Os visitantes do condomínio têm contato direto com os moradores e animais do condomínio. Ademais, podem estar presentes nas áreas de lazer e convívio social do condomínio o que resulta em uma exposição considerável. Contudo, inferior à dos moradores e jardineiros. A Tabela 20 apresenta os cenários de exposição associados aos visitantes e seus respectivos fatores de importância.

Os moradores do condomínio estão expostos à contaminação de diversas formas, estando presentes no condomínio todos os dias e frequentando as áreas recreativas, de lazer e

de convívio com maior frequência. A Tabela 21 apresenta os cenários de exposição associados aos moradores e seus respectivos fatores de importância.

Tabela 18 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Jardineiros).

Jardineiro				
Cenário de exposição	Fator de importância $f_{i\ cen\ exp}$	Justificativa	Fator de importância $f_{i\ via\ exp}$	$f_{i\ via\ exp} \times f_{i\ cen.}$
Ingestão acidental durante a irrigação (via direta)	9	Absoluta. Entende-se que por manusear e ter contato direto com o sistema de irrigação pode ocorrer a ingestão.	9	81
Ingestão intencional a partir do sistema a irrigação (via direta)	9	Absoluta. Entende-se que por manusear e ter contato direto com o sistema de irrigação pode ocorrer a ingestão por não ter atenção ou confusão.	9	81
Ingestão a partir do contato com animais contaminados (via indireta)	3	Fraca. Pode ocorrer ocasionalmente.	9	27
Inalação de micro gotículas durante a irrigação (via direta)	9	Absoluta. Entende-se que por manusear e ter contato direto com o sistema de irrigação pode ocorrer a ingestão.	9	81
Inalação de micro gotículas a partir de animais contaminados (via indireta)	3	Fraca. Pode ocorrer ocasionalmente.	9	27
Adsorção por contato com vegetação (via direta)	9	Absoluta. Executar a manutenção das áreas vegetadas é uma das atividades do colaborador.	3	27
Adsorção por contato com utensílios (via direta)	9	Absoluta. Executar a manutenção das áreas vegetadas é uma das atividades do colaborador.	3	27
Adsorção por contato com sistema de rega (via direta)	9	Absoluta. Entende-se que por manusear e ter contato direto com o sistema de irrigação pode ocorrer a adsorção.	3	27
Adsorção por contato com outras superfícies (via direta)	8	Entre dois níveis. Pode ocorrer por ter contato direto com as áreas vegetadas.	3	24
Adsorção por contato com animais contaminados (via indireta)	3	Fraca. Pode ocorrer ocasionalmente.	3	9
Adsorção pelo contato com pessoas contaminadas pela vegetação (via indireta)	5	Forte. Pode ocorrer com frequência moderada.	3	15
Somatório Σ			63	426

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 19 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Administrativo)

Administrativo				
Cenário de exposição	Fator de importância $f_{i\ cen\ exp}$	Justificativa	Fator de importância $f_{i\ via\ exp}$	$f_{i\ via\ exp} \times f_{i\ cen.}$
Ingestão acidental durante a irrigação (via direta)	2	Entre dois níveis. As atividades não contemplam práticas diretas com as áreas vegetadas, pode ocorrer ocasionalmente.	9	18
Ingestão intencional a partir do sistema a irrigação (via direta)	3	Fraca. Pode ocorrer ocasionalmente por não ter atenção ou confusão.	9	27
Ingestão a partir do contato com animais contaminados (via indireta)	1	Baixa. Pode ocorrer a partir da convivência com os moradores e, consequentemente, com os animais.	9	9
Inalação de micro gotículas durante a irrigação (via direta);	5	Forte. Pode ocorrer a partir de vistorias pelo condomínio.	9	45
Inalação de micro gotículas a partir de animais contaminados (via indireta)	1	Baixa. Pode ocorrer a partir da convivência com os moradores e, consequentemente, com os animais.	9	9
Adsorção por contato com vegetação (via direta)	3	Fraca. Pode ocorrer ocasionalmente.	3	9
Adsorção por contato com outras superfícies (via direta)	5	Forte. Pode ocorrer a partir de vistorias pelo condomínio.	3	15
Adsorção por contato com animais contaminados (via indireta)	3	Fraca. Pode ocorrer a partir da convivência com os moradores e, consequentemente, com os animais.	3	9
Adsorção pelo contato com pessoas contaminadas pela vegetação (via indireta).	3	Fraca. Pode ocorrer ocasionalmente.	3	9
Somatório Σ			57	150

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 20 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Visitantes)

Visitantes				
Cenário de exposição	Fator de importância $f_{i\ cen\ exp}$	Justificativa	Fator de importância $f_{i\ via\ exp}$	$f_{i\ via\ exp} \times f_{i\ cen.}$
Ingestão acidental durante a irrigação (via direta);	5	Forte. O visitante pode ter contato com o sistema de irrigação por curiosidade.	9	45
Ingestão intencional a partir do sistema a irrigação (via direta);	7	Demonstrada. Pois a ingestão pode ocorrer por desinformação.	9	63
Ingestão a partir do contato com animais contaminados (via indireta);	5	Forte. Pois pode ocorrer devido a convivência com os moradores e, consequentemente, com os animais.	9	45
Inalação de micro gotículas durante a irrigação (via direta);	6	Entre dois níveis. Pode ocorrer por uso das áreas de lazer ou passeios no condomínio.	9	54
Inalação de micro gotículas a partir de animais contaminados (via indireta);	5	Forte. Pois pode ocorrer devido a convivência com os moradores e, consequentemente, com os animais.	9	45
Adsorção por contato com vegetação (via direta);	8	Entre dois níveis. Pode ocorrer por uso das áreas de lazer ou passeios no condomínio.	3	24
Adsorção por contato com sistema de rega (via direta)	5	Forte. O visitante pode ter contato com o sistema de irrigação por curiosidade.	3	15
Adsorção por contato com outras superfícies (via direta);	6	Entre dois níveis. Pode ocorrer por uso das áreas de lazer ou passeios no condomínio.	3	18
Adsorção por contato com animais contaminados (via indireta)	5	Forte. Pois pode ocorrer devido a convivência com os moradores e, consequentemente, com os animais.	3	15
Adsorção pelo contato com pessoas contaminadas pela vegetação (via indireta).	5	Forte. Pois pode ocorrer devido a convivência com os moradores.	3	15
Somatório Σ			60	339

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 21 - Fatores de importância associados a cada cenário de exposição por receptor (Moradores)

Moradores				
Cenário de exposição	Fator de importância $f_{i\ cen\ exp}$	Justificativa	Fator de importância $f_{i\ via\ exp}$	$f_{i\ via\ exp} \times f_{i\ cen.}$
Ingestão acidental durante a irrigação (via direta);	7	Demonstrada. O visitante pode ter contato com o sistema de irrigação por curiosidade.	9	63
Ingestão intencional a partir do sistema a irrigação (via direta);	9	Absoluta. Pois a ingestão pode ocorrer por desinformação.	9	81
Ingestão a partir do contato com animais contaminados (via indireta);	8	Entre dois níveis. Pois pode ocorrer devido a convivência com os animais.	9	72
Inalação de micro gotículas durante a irrigação (via direta);	7	Demonstrada. Pode ocorrer por uso das áreas de lazer ou passeios no condomínio.	9	63
Inalação de micro gotículas a partir de animais contaminados (via indireta);	8	Entre dois níveis. Pois pode ocorrer devido a convivência com os animais.	9	72
Adsorção por contato com vegetação (via direta);	8	Entre dois níveis. Pode ocorrer por uso das áreas de lazer ou passeios no condomínio.	3	24
Adsorção por contato com sistema de rega (via direta)	5	Forte. Pode ter contato com o sistema de irrigação por curiosidade.	3	15
Adsorção por contato com outras superfícies (via direta);	7	Demonstrada. Pode ocorrer por uso das áreas de lazer ou passeios no condomínio.	3	21
Adsorção por contato com animais contaminados (via indireta)	9	Absoluta. Pois pode ocorrer devido a convivência com os animais.	3	27
Adsorção pelo contato com pessoas contaminadas pela vegetação (via indireta).	5	Forte. Pois pode ocorrer devido a convivência com os moradores.	3	15
Somatório Σ			60	453

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

7.3.2 Vulnerabilidade

A partir das considerações apresentadas nas tabelas anteriores, é determinada a vulnerabilidade de cada receptor, de acordo com a Tabela 22. É possível observar que os moradores tiveram vulnerabilidade superior aos jardineiros e, ainda que os jardineiros tenham contato direto com o sistema de tratamento e a vegetação, este resultado é compreensível a partir dos cenários propostos, em que, os animais domésticos podem fazer contato com a vegetação e/ou sistema de irrigação, contaminando-se inicialmente e, posteriormente, contaminando os tutores e familiares.

Entende-se que os jardineiros também podem ter contato com os animais domésticos, mas a probabilidade e frequência com que isso acontece é inferior a dos moradores e donos dos animais.

Tabela 22 - Vulnerabilidade de cada receptor.

Grupo	$\sum (f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}})$	$f_{\text{normalização}}$	V_{receptor}
Jardineiros	426	567	0,75
Administrativo	150	513	0,29
Moradores	339	540	0,84
Visitantes	453	453	0,63

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

7.4 ETAPA 4: Caracterização do risco

7.4.1 Identificação das barreiras

Para o problema em questão, há a possibilidade de aplicar qualquer uma das barreiras demonstradas na Tabela 14. Infelizmente, a aplicação de irrigação por gotejamento não é viável no presente estudo uma vez que a maior parte das áreas vegetadas do condomínio é coberta por gramíneas onde a micro aspersão é mais adequada para a irrigação. Logo, a Tabela 23 apresenta as barreiras aplicadas para reduzir o dano.

Tabela 23 - Barreiras e número de barreiras equivalentes adotadas.

Tipo de barreira	Aplicação	Redução de patógenos (Log)	Número de barreiras equivalentes
Irrigação por aspersão	Irrigação por aspersão e micro aspersão de culturas de crescimento, próximo do solo (25cm)	2	1
Cloro residual	Desinfecção que garanta concentração residual menor que < 1 mg/L (baixo nível)	2	1
Restrição do acesso	Restrição de entrada no local irrigado por 1 dia ou mais, após a irrigação.	0,5 a 2	1

Fonte: Adaptado de ISO (2020) e WHO (2006).

7.5 Determinação do dano

Uma vez que as barreiras foram definidas, pode-se estimar o dano de cada receptor. Para isso, utilizou-se da Tabela 15 para determinar o dano parcial de cada receptor. Além disso, utilizou-se os subgrupos representados por faixas etárias como critério, em que crianças e idosos tem uma maior severidade nos danos. Destaca-se, ainda, que crianças têm uma maior probabilidade de desrespeitar as barreiras impostas para o sistema, para o caso de restrição de acesso e método de irrigação. A Tabela 24 apresenta os danos parciais e totais obtidos para cada receptor.

Tabela 24 - Danos parciais e totais associados a cada um dos receptores.

Grupo	Subgrupo	Severidade	Probabilidade de a barreira falhar	Dano parcial	di*n	Dano
Jardineiro	Menos que 50 anos	Forte	Provável	8	24	0,89
	Mais que 50 anos	Severo	Provável	9	27	1,00
Administração	Menos que 50 anos	Forte	Provável	8	24	0,89
	Mais que 50 anos	Severo	Provável	9	27	1,00
Visitantes	Menos de 18 anos	Severo	Quase certa	9	27	1,00
	Entre 18 e 60 anos	Forte	Provável	8	24	0,89
	Mais de 60 anos	Severo	Provável	8	24	0,89
Moradores	Menos de 18 anos	Severo	Quase certa	9	27	1,00
	Entre 18 e 60 anos	Forte	Provável	8	24	0,89
	Mais de 60 anos	Severo	Provável	8	24	0,89

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

7.5.1 Estimativa do risco

Para o cálculo do risco dos receptores no contexto atual do condomínio, há um perigo de fator 7, em virtude da configuração da ETE. Entretanto, pode-se efetuar melhorias na ETE para, possivelmente, reduzir ainda mais o perigo e os riscos parciais e globais no sistema de

reúso. Sendo assim, os riscos foram calculados inicialmente com um fator de perigo atual igual a 7, mas, a fim de incentivar a melhoria do sistema de tratamento e reduzir os riscos do sistema de reúso bem como entender o impacto de uma falha no sistema de tratamento, foram feitas simulações com a redução no perigo para o fator 5 e o aumento do perigo para o fator 9 conforme a Tabela 25.

Tabela 25 - Resultado dos riscos no reúso do efluente tratado.

Norma de qualidade/ufc/100ml	Perigo	Receptor	Subgrupo	Vulnerabilidade	Dano	Risco	Nível do risco
E.coli ≥ 10 ⁴	9	Jardineiros	Menos que 50 anos	0,75	0,89	6,01	Aceitável
			Mais que 50 anos		1,00	6,76	Aceitável
		Administrativo	Menos que 50 anos	0,29	0,89	2,34	Desprezível
			Mais que 50 anos		1,00	2,63	Desprezível
		Visitantes	Menos de 18 anos	0,84	1,00	7,55	Inaceitável
			Entre 18 e 60 anos		0,89	6,71	Aceitável
			Mais de 60 anos		0,89	6,71	Aceitável
		Moradores	Menos de 18 anos	0,63	1,00	5,65	Aceitável
			Entre 18 e 60 anos		0,89	5,02	Aceitável
			Mais de 60 anos		0,89	5,02	Aceitável
		Risco Global					3,98
10 ³ < E.coli < 10 ⁴	7	Jardineiros	Menos que 50 anos	0,75	0,89	4,67	Aceitável
			Mais que 50 anos		1,00	5,26	Aceitável
		Administrativo	Menos que 50 anos	0,29	0,89	1,82	Desprezível
			Mais que 50 anos		1,00	2,05	Desprezível
		Visitantes	Menos de 18 anos	0,84	1,00	5,87	Aceitável
			Entre 18 e 60 anos		0,89	5,22	Aceitável
			Mais de 60 anos		0,89	5,22	Aceitável
		Moradores	Menos de 18 anos	0,63	1,00	4,39	Aceitável
			Entre 18 e 60 anos		0,89	3,91	Aceitável
			Mais de 60 anos		0,89	3,91	Aceitável
		Risco Global					3,40
10 ² < E.coli < 10 ³	5	Jardineiros	Menos que 50 anos	0,75	0,89	3,34	Aceitável
			Mais que 50 anos		1,00	3,76	Aceitável
		Administrativo	Menos que 50 anos	0,29	0,89	1,30	Desprezível
			Mais que 50 anos		1,00	1,46	Desprezível
		Visitantes	Menos de 18 anos	0,84	1,00	4,19	Aceitável
			Entre 18 e 60 anos		0,89	3,73	Aceitável
			Mais de 60 anos		0,89	3,73	Aceitável
		Moradores	Menos de 18 anos	0,63	1,00	3,14	Aceitável
			Entre 18 e 60 anos		0,89	2,79	Desprezível
			Mais de 60 anos		0,89	2,79	Desprezível
		Risco Global					1,87

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

7.6 Proposição de barreiras complementares ou medidas de proteção

Uma barreira pode ser definida como o meio de redução e prevenção dos riscos associados à saúde humana e ao meio ambiente evitando o contato com a ApR e/ou melhorando sua qualidade (ISO, 2018). Assim o item 6.5.1 e 7.4.1 apresentam as barreiras e barreiras equivalentes utilizadas para reduzir o dano e, conseqüentemente, os riscos associados aos receptores.

Logo, as barreiras podem efetivamente reduzir unidades logarítmicas de densidades de microrganismos (Coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*), ou podem, simplesmente, representar essa redução. Isso significa que águas com uma densidade inadequada de microrganismos para determinado uso, podem tornar-se adequadas, não pela redução dessa carga, mas pela implantação de uma ou mais barreiras equivalentes, que representem essa redução (LIMA, 2021).

Para a implementação da Etapa 4 foram adotadas barreiras já previstas na ISO de 2018 que são amplamente aplicadas nos trabalhos de referência bibliográfica. Entretanto, assumindo o conceito de que barreiras podem também prevenir o contato com a ApR, é ideal analisar a área de implantação do sistema de reúso e identificar também medidas além das usuais e que já tem uma aplicação de barreiras equivalentes.

Com isso, de acordo com ABES (2015) em sua publicação intitulada “Reúso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil” assume também que a informação também é um fator de sucesso. Sendo assim, o consumidor, no caso do presente estudo, os moradores e demais envolvidos, devem ser bem-informadas sobre o reúso, quantidade, qualidade e método de tratamento. Desse modo, entende-se que é importante que o condomínio implemente em suas assembleias de condôminos e reuniões com funcionários a discussão sobre a prática de reúso que o condomínio está implantando, informe os riscos e especifique as precauções que devem ser tomadas.

Além disso, assumindo que os jardineiros manusearão o sistema de irrigação, é importante destacar o fornecimento imediato de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) prevenindo o ainda mais o contato direto com a ApR. Sendo exemplos desses equipamentos máscaras de proteção que podem prevenir a inalação de gotículas, luvas de proteção que previnem a adsorção e absorção, óculos de proteção que previnem absorção pelos olhos e vestimentas adequadas que previnem adsorção através da pele.

Outra medida que pode ser aplicada é a sinalização dos horários de reúso e das fontes da ApR, logo os indivíduos identificarão imediatamente uma torneira que contém água potável

e uma torneira que contém água de reúso. Para isso pontos de água potável podem ter a cor verde de acordo com a NBR 6493/1994 e para os pontos de água de reúso, como não há cor especificada em normas brasileiras, podem ter a cor laranja ou lilás para que os indivíduos tenham atenção.

Destaca-se que essas duas barreiras complementares não são apresentadas na ISO de 2018, logo não são destacados redução de patógenos nem barreiras equivalentes. Contudo, é um método adicional que garante uma maior segurança aos envolvidos.

8 CONCLUSÃO

O presente trabalho dispôs a aplicar a metodologia semiquantitativa do risco microbiológico para um condomínio residencial na cidade de Maceió/AL.

Tratando-se de um condomínio residencial há um obstáculo em controlar os indivíduos que frequentam os espaços, este fato levou a considerar a divisão dos principais receptores envolvidos a partir do contato que eles podem ter com o sistema de reúso e vegetação irrigada. Não somente, determinou-se subgrupos a partir das faixas etárias destes indivíduos, uma vez que se compreende que idosos e crianças são mais vulneráveis em alguns aspectos, como a severidade dos danos, a dificuldade maior em controlar esse público e a possibilidade de transferência das informações sobre os riscos.

As barreiras propostas na aplicação do sistema de reúso são comuns e de fácil aplicação, sendo elas o método de irrigação, que pode reduzir o contato com o efluente, a adição de produto químico, que desestabiliza os patógenos presentes no efluente tratado, e a restrição de acesso aos locais de irrigação. Esses conjuntos de barreiras, ainda que possam falhar, reduzem os danos e, conseqüentemente, os riscos aos receptores consideravelmente.

Os resultados das vulnerabilidades dos indivíduos apresentaram-se de forma coerente aos cenários de exposição. Os moradores do condomínio demonstram maior vulnerabilidade, seguido dos colaboradores responsáveis pelos serviços de jardinagem que mantêm contato direto com as zonas de irrigação, depois os visitantes que têm comportamento semelhante aos moradores, mas com uma menor frequência e probabilidade, e os colaboradores responsáveis pelos serviços administrativos e de segurança que tem menor contato com as regiões de irrigação.

Todos os riscos globais foram considerados como aceitáveis, sendo este em valor numérico inferior a 6 e a faixa de recomendação aceitável está entre 3 e 7. Além disso, ao simular uma redução no perigo do reúso de efluente (Tabela 25) o risco foi reduzido, tornando-se desprezível, sendo este em valor numérico inferior a 3 e faixa de recomendação desprezível está entre 0 e 3.

Com a aplicação da metodologia foi possível observar uma possibilidade no reúso do efluente tratado do condomínio estudado, ressaltando a importância de incrementar placas de sinalização além de efetuar um contato com os moradores para compreender o uso da água e diferenciar a água potável da água não potável.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16783: **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17076: **Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649: **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário: apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ALMEIDA, Rodrigo Gomes de. **Aspectos legais para a água de reúso**. Vértices, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 31-43, maio 2011.
- ANDRADE, Verônica Silveira de. **Sistema computacional para pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgotos domésticos para municípios de pequeno e médio porte**. 2016. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.
- APA. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Guia para reutilização de água – usos não potáveis**. Lisboa: APA, 2019.
- ASANO, T. **Waste water reuse for non-potable applications**. 2002.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.
- BRASIL. (2016) **Projeto de Lei do Senado nº 58**, de 2016.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos et al (comp.). **Tratamento de Esgotos e Produção de Efluentes Adequados a Diversas Modalidades de Reúso da Água**. In: PROSAB (Pernambuco) (comp.). **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim**. Recife: Abes, 2006. Cap. 3. p. 64-101.
- DOS SANTOS, A. B. **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza, Brasil: Imprece, 2019. p. 812.
- FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. (coordenador). **Tratamento e utilização de esgotos Sanitários**. PROSAB –Edital IV. Recife: ABES, 2006. p. 28-427.

- GOHRNGUER, S. S. **Uso Urbano Não Potável de Efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Estudo de Caso: Município de Campo Largo -PR.** 2006. 238 f. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.
- ISO. ISO 16075-1:2020 – **Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 1: The basis of reuse**, 2nd. Ed. Geneva, 2020a.
- ISO. ISO 16075-2:2020 – **Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 2: Development of the project**, 2nd. Ed., 2020b.
- KHAN, S.J.; ANDERSON, R. Potable reuse: Experiences in Australia. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p 55-60, abr. 2018.
- LIMA, M. A. DE M.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Irrigação com água de reúso no Brasil: Aplicação do modelo Semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 9, n. 2, p. 71– 86, 15 set. 2021.
- LIMA, M. A. DE M. **Avaliação do potencial de reúso de água para irrigação e do risco de contaminação microbiológica em seres humanos.** 2022. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2022.
- METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2016, 1980 p. ISBN 978-85-8055-523-3. (Tradução: Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa).
- MONTE, H. M; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuárias.** Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Janeiro de 2010. p. 342.
- MORUZZI, Rodrigo Braga. **Reúso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios.** Olam: Ciência & Tecnologia, Rio Claro, v. 8, n. 3, p. 271, jul. 2008.
- OMS. Organização Mundial de Saúde. **Potable Reuse: Guidance for producing safe drinking-water.** Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2017. p. 152.
- REBELO, A. **Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água.** Atas do 14o Congresso da Água. Anais...Évora, Portugal: 2018.
- REZENDE, Amanda Teixeira de. **Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil.** 2016. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Cap. 4.
- SAMPAIO, V. M. P. **Aplicação da Metodologia Semi-quantitativa de Avaliação do Risco Microbiológico para a Reutilização de Água num Campo de Golfe.** 2021. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil Hidráulica e Ambiente. 2021.
- SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M. Nota Técnica 2 - **Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil.** Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 8, p. 50-68, 2020.

SINDUSCON-SP. **Manual de Conservação e reúso de água em edificações.** FIESP/CIESP/SINDUSCON. São Paulo, SP, 2005.

VIEIRA, J. M. P. **Água e Saúde Pública.** 1. ed. [s.l.] Sílabo, 2018.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** 4. ed. Belo Horizonte: 2014, UFMG. p. 472.

VON SPERLING, Marcos. **Lodos ativados.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WHO. **Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management.** [s.l.] World Health Organization, 2016.

WWAP. **Wastewater: The Untapped Resource.** Paris, 2017.