



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

SABRINA LUÍSA FRITSCH

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA FINS DE REUSO**

Estudo de caso da ETE Mato Grande – Canoas, Rio Grande do Sul

Porto Alegre

Setembro de 2021

SABRINA LUÍSA FRITSCH

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA FINS DE REUSO**

Estudo de caso da ETE Mato Grande – Canoas, Rio Grande do Sul

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva

Porto Alegre

Setembro de 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Fritsch, Sabrina Luísa
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA
EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA FINS DE
REUSO: Estudo de caso da ETE Mato Grande - Canoas, Rio
Grande do Sul / Sabrina Luísa Fritsch. -- 2021.
86 f.
Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Água de reuso. 2. Saneamento. 3. Estação de
Tratamento de Esgoto. I. Silva, Maria Cristina de
Almeida, orient. II. Título.

SABRINA LUÍSA FRITSCH

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA EM UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA FINS DE REUSO

Estudo de caso da ETE Mato Grande – Canoas, Rio Grande do Sul

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **DIA/MES/ANO** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

Profa. Maria Cristina de Almeida Silva (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora

Prof. Gino Roberto Gehling (UFRGS)

Dr. pela Universitat Politècnica de Catalunya

Prof. Antonio Domingues Benetti (UFRGS)

Dr. Pela Cornell University

Conceito:.....

Dedico este trabalho a meus pais, Jairo e Tânia, à
minha irmã Tainá, avós e avôs, que sempre me
apoiaram, incentivaram e nunca mediram esforços
para me proporcionar uma boa educação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, pelo incentivo, amor e por nunca medirem esforços para proporcionarem para mim e minha irmã uma boa educação. À minha irmã, pelo companheirismo, cumplicidade e apoio em todos os momentos. Aos meus avós, por todo amor, carinho e cuidado comigo. Aos meus tios, tias e à nina, pelas palavras de incentivo e apoio.

À minha orientadora Maria Cristina pelos ensinamentos recebidos e por estar sempre presente e disposta a responder as minhas dúvidas.

Aos amigos que cultivei até aqui, que me ouviram, me aconselharam, compartilharam momentos, risadas e que sempre estiveram ao meu lado. Agradeço à Thaís pela nossa amizade e por todo incentivo e ajuda recebida todos esses anos. À Camila e a Tainara, que por muito tempo foram minha família em Porto Alegre, tornando o dia a dia mais leve e feliz. Ao Cae por todo incentivo e apoio.

Aos meus colegas de trabalho por todo incentivo, em especial à Fernanda, por todos ensinamentos, dicas e ideias para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e todos os professores dos quais fui aluna.

E a Deus por todas as oportunidades recebidas.

“Há água suficiente para satisfazer as crescentes necessidades do mundo, mas não sem mudar a forma de geri-la”.

(ONU, 2018)

RESUMO

Este estudo propõe-se a avaliar a qualidade do efluente tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mato Grande, localizada no município de Canoas/RS, para fins de reuso urbano, industriais, agrícolas e florestais, e, conforme padrões orientativos estabelecidos à nível federal pelo Programa Interáguas e critérios definidos à nível estadual pela Resolução CONSEMA nº 419/2020. Ainda, teve como intuito propor o monitoramento de mais parâmetros de qualidade do efluente para os reusos referidos, conforme é requerido em Resolução, para que, a partir disso, seja possível propor tratamentos adicionais à água residuária, caso seja de interesse a implantação do reuso. De forma a realizar a avaliação da qualidade do efluente conforme orientações e critérios, utilizou-se de dados analíticos evidenciados no Relatório Operacional e Analítico cedido pelo órgão ambiental, o qual o recebeu da referida ETE em atendimento a Licença de Operação (LO), sendo os dados constantes nela referentes ao período de janeiro à junho de 2021. Como resultado do comparativo realizado obteve-se que o único uso atendido, para a qualidade atual do efluente tratado, é o reuso urbano específico para limpeza e desobstrução de redes de esgoto, o qual já vem sendo realizado. De maneira a possibilitar o reuso para também outros fins, fora proposto o monitoramento dos parâmetros ovos de helmintos, cloro residual, condutividade elétrica e cloreto. São evidenciados possíveis processos de desinfecção e remoção de patógenos, estimado o custo de implantação de etapa de tratamento adicional - R\$ 3.605.449,22 – e são apresentados diferentes cenários de receita da venda da água a partir da aplicação de distintas tarifas. Com base nos cenários avaliados calculou-se também os tempos de retorno de investimento ou “*Payback*” de implantação do projeto.

Palavras-chave: Estação de tratamento de esgoto. Água de reuso. Saneamento.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the quality of the effluent treated by the Sewage Treatment Station (ETE) Mato Grande, located in the city of Canoas / RS, for urban, industrial, agricultural, and forestry reuse purposes, and, according to selected guidelines, federal level by the Interáguas Program and criteria defined at the state level by CONSEMA Resolution nº 419/2020. Furthermore, it intends to monitor more effluent quality parameters for determining reuses, as required in the resolution, to make it possible to propose additional treatments to wastewater if the implementation of reuse is of interest. The analytical data evidenced in the Operational and Analytical Report provided by the environmental agency was used to evaluate the quality of the effluent according to guidelines and criteria, which received it from the ETE in attendance of the Operating License (LO), being the data contained in it from January to June 2021. As a result of the comparison accomplished, it was found that the only use for the current quality of the treated effluent is the specific urban reuse for cleaning and unclogging sewage networks, which is already being done. A proposal to monitor the parameters of helminth eggs, residual chlorine, electrical conductivity, and chloride was made to enable reuse for other destinations. Possible processes of disinfection and removal of pathogens are evidenced, the cost of implementing an additional treatment step is estimated - R\$ 3,605,449.22 - and different scenarios of revenue from the sale of water from the application of different tariffs are presented. Based on the evaluated scenarios, the return on investment or “Payback” times for project implementation were also calculated.

Keywords: Sewage treatment plant. Reuse water. Sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização de um sistema de tratamento por lodos ativados de aeração prolongada.....	15
Figura 2 - Potenciais formas de aplicação da água de reuso.....	17
Figura 3 - Recomendação de nível de tratamento mínimo para reusos não potáveis.	29
Figura 4 - Desenho esquemático da EPAI da Aquapolo Ambiental.....	35
Figura 5 - Diagrama esquemático dos principais aspectos relacionados ao levantamento e localização das ofertas de água de reuso, bem como avaliações dos efluentes produzidos.	37
Figura 6 - Localização Estação de Tratamento de Esgoto Mato Grande.....	40
Figura 7 - Componentes do sistema de tratamento da ETE Mato Grande.....	41
Figura 8 – Tarifas de água potável aplicadas pela CORSAN no município de Canoas (reguladas pela AGESAN).....	47
Figura 9 - Vazão afluente à ETE no período de janeiro à junho de 2021.....	53
Figura 10 - DBO no período de janeiro à junho de 2021.....	54
Figura 11 - pH medido no período de janeiro à junho de 2021.	54
Figura 12 - Eficiência de remoção de <i>E. coli</i> no período de janeiro à junho de 2021.	55

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Modalidades de reuso Programa Interáguas, descrições básicas e aplicações..	22
Tabela 2: Recomendação de critérios mínimos pelo Programa Interáguas para diferentes fins de reuso.	24
Tabela 3: Padrões de qualidade para utilização da água de reuso para fins urbanos - Resolução CONSEMA nº 419/2020.	26
Tabela 4: Padrões de qualidade para utilização da água de reuso para fins agrícolas e florestais - Resolução CONSEMA nº 419/2020.	26
Tabela 5: Frequência de monitoramento dos parâmetros da água de reuso - Resolução CONSEMA nº 419/2020.	27
Tabela 6: Impulsionadores do reuso de água residuária tratada e oportunidades por modalidade na região Sul do Brasil.	31
Tabela 7: Parâmetros e padrões de emissão do efluente.	42
Tabela 8: Parâmetros CONSEMA nº 355/2017.	43
Tabela 9: Valores utilizados para o cálculo do custo da compra de 51 m ³ de água potável.	48
Tabela 10: Comparativo entre a Resolução CONSEMA nº 419/2020 e o Programa Interáguas para fins de reuso urbano	49
Tabela 11: Comparativo entre a Resolução CONSEMA nº 419/2020 e o Programa Interáguas para fins de reusos agrícolas.	51
Tabela 12: Comparativo entre a Resolução CONSEMA nº 419/2020 e o Programa Interáguas para fins de reuso industrial	52
Tabela 13: Transformação do parâmetro <i>E. coli</i> em coliformes termotolerantes para fins comparativos das análises da ETE com a Resolução CONSEMA 419/2020.	56
Tabela 14: Comparativo entre limites CONSEMA nº 419/2020, valores orientativos do Programa Interáguas e análises do efluente da ETE Mato Grande para fins de reuso urbano.	57

Tabela 15: Comparativo entre limites CONSEMA nº 419/2020, valores orientativos do Programa Interáguas e análises do efluente da ETE Mato Grande para fins de reuso agrícola.....	60
Tabela 16: Comparativo entre CONSEMA nº 419/2020, valores orientativos do Programa Interáguas e análises do efluente da ETE Mato Grande para fins de reuso industrial.	63
Tabela 17: Resumo de usos previstos, parâmetros não atendidos e parâmetros não monitorados com base na Resolução CONSEMA 419/2020 e Programa Interáguas	64
Tabela 18: Parâmetros sugeridos para monitoramento e quais não atenderam a Resolução e o Programa para os fins de reuso urbano, agrícolas e florestais	66
Tabela 19: Frequência de monitoramento de parâmetros sugeridos de análise para atendimento do Programa Interáguas.....	67
Tabela 20: Tempos de retornos de investimento a partir da aplicação de diferentes tarifas de água de reuso e diferentes considerações de porcentagens de venda.....	71
Tabela 21: Comparativo entre o custo da compra de 51 m ³ de água de reuso e do mesmo volume de água potável.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AM – Ambiental Metrosul
- ANA – Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
- CAGEPA - Centro de Pesquisa da Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
- CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio a 5 dias
- DBO_{5,20} – Demanda Bioquímica de Oxigênio a 5 dias e 20°C
- E. coli - Escherichia coli*
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPAI - Estação de Produção de Água Industrial
- EPAR - Estação de Produção de Água de Reuso
- ETAR - Estação de Tratamento de Água de Reuso
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- EUA – Estados Unidos
- FAO – Food and Agriculture Organization
- FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental
- IBGE – Instituto de Geografia e Estatística
- INCC - Índice Nacional de Construção Civil
- LI – Licença de Instalação
- LO – Licença de Operação
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- NMP - Número Mais Provável
- NT - Notas Técnicas
- ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- pH – Potencial Hidrogeniônico
- PPP - Parceria Público Privada
- RAS - Razão de Adsorção de Sódio
- ROA – Relatório Operacional e Analítico
- RPD - Reuso Potável Direto

RPI - Reuso Potável Industrial

Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAESA - Sistema de Água, Esgoto e Saneamento Ambiental

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SEMAE - Serviço Municipal de Águas e Esgotos

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SMMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SPE - Sociedade de Propósito Específico

SST - sólidos suspensos totais

SSU - Secretaria de Serviços Urbanos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

US EPA - United States Environmental Protection Agency

USP - Universidade de São Paulo

UV – Ultra Violeta

WWAP - World Water Assessment Programme

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO	9
1.1.	Introdução.....	9
1.2.	Objetivos	10
1.2.1.	Objetivo Geral	10
1.2.2.	Objetivos Específicos	10
1.3.	Justificativa.....	11
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1.	Importância da água	12
2.2.	Águas residuárias	13
2.2.1.	Tratamento de águas residuárias	13
2.2.2.	Água de reuso	15
2.2.3.	Descrição de parâmetros para avaliação da água de reuso.....	18
2.2.4.	Legislação vigente sobre água de reuso	20
2.2.5.	Padrões de qualidade para diferentes fins de reuso.....	22
2.2.6.	Tratamentos adicionais.....	28
2.2.7.	Aplicações da água de reuso.....	29
2.2.8.	Experiências Nacionais	31
2.2.8.1.	Reuso urbano	32
2.2.8.2.	Reuso na agricultura	33
2.2.8.3.	Reuso na indústria	34
2.3.	Metodologia de avaliação do potencial regional de reuso de água residuária tratada	36
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1.	ETE Mato Grande: estudo de caso e justificativa	38

3.2. Obtenção de dados analíticos	38
3.3. Caracterização da ETE	39
3.4. Parâmetros analisados na ETE	42
3.5. Verificação e comparação entre legislação e normativas.....	44
3.6. Verificação de atendimento de parâmetros para fins de reuso.....	44
3.7. Recomendação de monitoramento de parâmetros.....	44
3.8. Apresentação de possíveis tratamentos adicionais.....	45
3.9. Análise financeira de implantação de sistema adicional de tratamento ..	45
3.9.1. “Payback” Descontado.....	45
3.9.2. Investimentos e receita	46
3.9.3. Comparativo entre possíveis custos de compra de água de reuso e custos da água potável	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1. Comparativo entre Resolução CONSEMA nº 419/2020 e padrões orientativos para água de reuso do Programa Interáguas.....	49
4.2. Análise do efluente da ETE Mato Grande	53
4.3. Comparativo entre análises de qualidade do efluente, CONSEMA 419/2020 e padrões orientativos do Programa Interáguas	55
4.4. Recomendação de monitoramento de mais parâmetros	65
4.5. Apresentação de possíveis tratamentos adicionais.....	68
4.6. Estimativa de custo de implantação de tratamento adicional, receita a partir da venda da água de reuso e tempo de retorno de investimento	71
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXO I	81

1. APRESENTAÇÃO

1.1.Introdução

A água tem um papel fundamental na sustentação da vida na terra. A evolução dos seres vivos sempre foi e sempre será dependente da água, portanto, aborda-se aqui o elemento mais importante e crítico para a vida. De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2018), mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que experimentam estresse hídrico, ou seja, sofrem prejuízos pela escassez de água.

A escassez de água pode estar atrelada a duas diferentes situações, sendo elas: a escassez física e a escassez econômica da água. A primeira, está atrelada ao fato de não existir quantidade de água em volume suficiente para suprir a demanda requerida, tanto da sociedade quanto do meio ambiente. Já a escassez econômica é causada por baixos investimentos em infraestrutura a fim de satisfazer a demanda pela água, independentemente do nível de recursos hídricos (FAO, 2012).

Os prejuízos causados pelas crises hídricas refletem tanto na saúde e qualidade de vida da sociedade, quanto na economia global, e diante do cenário de estresse hídrico que hoje muitas regiões do Brasil enfrentam, o reuso de água, a partir de esgotos domésticos tratados de forma segura, torna-se uma importante alternativa para suprir algumas das demandas (SANTOS et al., 2021), tais como as urbanas, agrícolas e florestais, e industriais (BRASIL, 2020). Ademais, a prática pode auxiliar na redução de conflitos pelo uso da água e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico da região em que esta ação se aplica (SANTOS et al., 2021).

Ainda, é necessário evidenciar que a prática do reuso da água reduz a descarga de poluentes nos corpos hídricos, conservando os corpos hídricos para o abastecimento público e outros fins que exijam uma melhor qualidade da água (BRASIL, 2020). No Brasil, a prática do reuso vem sendo feita em algumas regiões e isso vem possibilitando a diminuição do uso de águas potáveis para fins que não requerem elevada potabilidade, possibilitando que essa seja destinada para fins essenciais. No Rio Grande do Sul em específico, a prática ainda é pouco discutida e implementada, entretanto, com a publicação da Resolução CONSEMA nº 419 em fevereiro de 2020, definindo padrões específicos para

fins de reuso, percebe-se que começam a existir estímulos para a aplicação do reuso da água.

Dessa forma, o trabalho desenvolvido visa auxiliar as discussões sobre o tema de reuso da água, bem como, realizar avaliação para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em específico. A avaliação realizada foi com relação a qualidade do efluente tratado por uma ETE do Rio Grande do Sul, de forma a verificar o atendimento a padrões orientativos em nível federal e a critérios definidos em legislação a nível estadual. São propostos mais parâmetros para monitoramento da qualidade da água residuária tratada, de forma a definir tratamentos adicionais caso seja de interesse realizar o reuso da água, bem como, são evidenciados possíveis tratamentos para sua desinfecção e remoção de patógenos. Por fim, realizou-se uma estimativa de custo para implantação de etapa adicional de tratamento - de forma a adequar microbiologicamente a água para fins de reuso -, de receita a partir da venda da água de reuso e do tempo de retorno do investimento proposto.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade do efluente da ETE Mato Grande de Canoas/RS, de forma a verificar o atendimento a requerimentos e padrões estabelecidos atualmente para fins de reusos urbanos, industriais, agrícolas e florestais. Aos fins de reusos não atendidos, será proposto monitoramento de mais parâmetros e evidenciados sistemas de tratamento adicionais caso seja de interesse a realização do reuso. Por fim, será realizada análise financeira para a implantação de um tratamento adicional para adequação de parâmetros não atendidos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar verificação e comparação entre legislação e normativas que regulamentam e definam o reuso da água;

- Recomendar monitoramento de mais parâmetros de qualidade do efluente tratado de forma a possibilitar a avaliação de quais os tratamentos adicionais necessários caso seja de interesse o reuso da água;

- Apresentar possíveis tratamentos adicionais a fim de possibilitar o reuso do efluente tratado.

- Estimar custo de implantação de etapa adicional de tratamento, receita a partir da venda da água de reuso e tempo de retorno do investimento proposto.

1.3. Justificativa

A escolha do tema para o desenvolvimento deste projeto se deu pela importância ambiental de análise da qualidade, conforme a legislação vigente, de um recurso hoje pouco explorado, principalmente no Rio Grande do Sul. Além disso, é importante por se tratar de um tema de relevância para a empresa que atualmente opera a ETE Mato Grande.

A ETE Mato Grande, escolhida para o desenvolvimento do estudo, tem capacidade para produzir 22.464 m³ de efluente por dia. A referida ETE terá a sua ampliação, a curto e médio prazo, e terá capacidade de tratar quase quatro vezes o volume de atendimento atual. Diante disso, percebe-se a importância de vislumbrar o efluente produzido como um recurso que representa disponibilidade hídrica contínua, o qual é simplesmente lançado em corpo hídrico – podendo até ocasionar impactos pelo seu lançamento. Além disso, deixa-se de reutilizá-lo – de maneira segura - em meio urbano, na agricultura e indústria. Essa ação poderia contribuir também para a preservação da água potável, bem como, supriria demandas de fins menos nobres.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Importância da água

A água doce é um recurso de extrema importância para os ecossistemas e a vida humana, sendo o acesso a ela um direito universal (United Nations, 2010). Entretanto, cerca de 2 bilhões de pessoas no mundo não possuem acesso à água potável (United Nations, 2018) e cerca de 80% das águas residuárias industriais e municipais são lançadas no meio ambiente sem nenhum tipo de tratamento, prejudicando tanto o meio ambiente quanto a sociedade (United Nations, 2021).

De acordo com o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA) (2019), cerca de 2.082,7 m³ de água são captados por segundo no Brasil para fins de utilização. Disso, estima-se que 52% é utilizada para irrigação, 23,8% para abastecimento urbano, 9,1% pela indústria de transformação e os outros 15,1% dividem-se entre usos de abastecimento animal, termelétrica, abastecimento rural e mineração. Ainda, tendo em vista o rápido crescimento populacional, estima-se que a demanda por água aumente em quase 1/3 até 2050. A partir disso, e considerando o aumento da degradação ambiental, torna-se evidente a necessidade de estabelecimento de novas formas de gerenciar as demandas relacionadas aos recursos hídricos (United Nations, 2018).

A fim de atender a demanda global os recursos hídricos vêm hoje sofrendo grande pressão, fato esse que novamente remonta a necessidade de avaliar as utilizações feitas das águas. O estresse hídrico, que pode ser mensurado pela relação existente entre demanda e recurso disponível, vem afetando diversos países (United Nations, 2018) e o consumo de água registrado no último século vem apresentando taxas de crescimento consideravelmente elevadas em comparação às taxas de crescimento demográfico (DA CUNHA, 2002).

Ainda, nas próximas duas décadas a previsão é de que a demanda industrial e doméstica por água ascenderá mais rapidamente que a demanda da agricultura, embora esse fim permaneça sendo o de maior utilização. Os países em desenvolvimento serão os grandes responsáveis por essa crescente (WWAP, 2018). Com essa constatação, entra em pauta o tratamento dessas águas residuárias produzidas bem como possibilidades de reutilização das mesmas.

2.2. Águas residuárias

A maioria das atividades que utiliza água gera águas residuárias, portanto, como é previsto aumento da utilização desse recurso nas próximas duas décadas, maior será a produção de águas residuais, bem como a poluição por ela gerada (WWAP, 2017). Aqui, portanto, define-se a água residuária conforme a Resolução Nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que a descreve como esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.

O Relatório sobre o indicador 6.3.1 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) evidencia que 59% das águas residuárias domésticas são coletadas e tratadas de forma segura. Entretanto, esse número é com relação a apenas 79 países, sendo eles de renda alta e média (United Nations, 2018 apud United Nations, 2021). Já nos países de baixa renda, nos quais há carência de estruturas de saneamento, são submetidas a tratamento apenas 8% das águas residuárias geradas (SATO et al., 2013).

A falta de tratamento das águas residuais ocasiona impactos negativos ao meio ambiente, saúde humana e também na produtividade econômica. É estimado que em 2012, cerca de 842 mil mortes ocorridas em países de renda média e média-baixa, tenham sido ocasionadas por inapropriado serviço de saneamento (WWAP, 2017).

2.2.1. Tratamento de águas residuárias

O tratamento avançado das águas residuárias em países de alta renda é realizado para manter a qualidade do meio ambiente e/ou a fim de estabelecer uma fonte alternativa de água perante a carência desse recurso (WWAP, 2017). No Brasil, de maneira geral, 54,1% da população tem acesso à coleta de esgoto. Quando esse índice se restringe apenas ao meio urbano, sobe para 61,9%. Com relação ao tratamento de esgoto, estima-se que apenas 49,1% dos esgotos gerados no Brasil recebem tratamento e que apenas 78,5% dos esgotos coletados são tratados (SNIS, 2019).

O nível de tratamento dos esgotos domésticos e sua eficiência são estabelecidos conforme a utilização da água a jusante do lançamento, legislação ambiental e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico receptor. Para o tratamento dessas águas residuárias

existem diversas alternativas com aplicação de processos biológicos ou mesmo físico-químicos de tratamento (MENDONÇA; MENDONÇA, 2018).

O tratamento da água residuária é classificado de acordo com os seguintes níveis: preliminar; primário; secundário; e terciário. Ao preliminar cabe a remoção de sólidos grosseiros. O primário, tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentares e parte da matéria orgânica. O tratamento secundário tem como objetivo a remoção de matéria orgânica e nutrientes, como por exemplo nitrogênio e fósforo. Ao tratamento terciário, cabe a remoção de poluentes específicos (em geral tóxicos ou não biodegradáveis) e complementar a retirada de poluentes que até então não haviam sido removidos de maneira suficiente (VON SPERLING, 2007). Ainda, o tratamento terciário é conhecido como tratamento avançado e normalmente utiliza-se dele para a obtenção de um efluente final de elevada qualidade (MENDONÇA; MENDONÇA, 2018).

Um sistema amplamente utilizado para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais é o de lodos ativados. Esse processo proporciona elevada qualidade do efluente e requer pequenas áreas para implantação (VON SPERLING, 2002) quando comparado com outros sistemas, como os de lagoas de estabilização, por exemplo (OLIVEIRA, 2004). Por outro lado, o tratamento por lodos ativados requer maior mecanização, fato esse que demanda uma operação mais aprimorada, bem como, maior consumo de energia elétrica (VON SPERLING, 2002). A Figura 1 apresenta o fluxograma de um sistema de tratamento por lodos ativados de aeração prolongada, sendo essa variante de lodos ativados, de acordo com Von Sperling (2002), a mais eficiente na remoção de DBO.

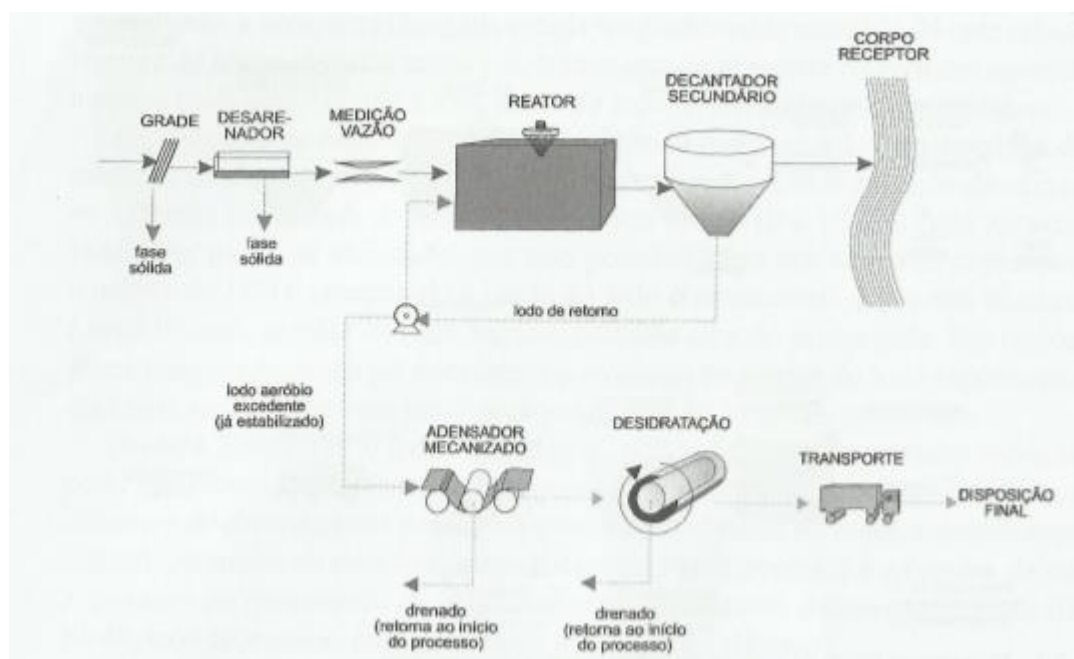


Figura 1 - Esquematização de um sistema de tratamento por lodos ativados de aeração prolongada.

Fonte: VON SPERLING, 2002.

Com relação à qualidade dos efluentes tratados no Brasil, é importante destacar que de acordo com Lima et al. (2021), 30% do total de efluentes tratados passam apenas pelos estágios primários ou primários avançados de tratamento, e a porcentagem da vazão total que passa pela fase terciária de desinfecção é de apenas 7%. Esses números demonstram uma fragilidade do Brasil com relação à qualidade do efluente gerado, tanto com relação ao lançamento quanto para aplicação do reuso dessa água.

2.2.2. Água de reuso

Conforme a Resolução Nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), água de reuso é definida como sendo a água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. As águas residuárias tratadas são potenciais fontes de abastecimento de água em algumas cidades, principalmente nas que experimentam escassez hídrica ou em locais em que a demanda crescente de água obriga às transferências de água por longas distâncias (WWAP, 2017). Entretanto, em âmbito global, o potencial de recuperação de recursos a partir das águas

residuárias geradas em sistemas de tratamento é muito pouco utilizado, dado que grande parte dessas águas nem mesmo são coletadas (Jiménez & Asano, 2008).

Antes, a água residuária era vista como um fluxo incômodo, que necessita de tratamento antes de ser lançado aos corpos hídricos (Stacklin, 2012). Entretanto, frente a elevada demanda por água, as águas residuárias passam a despertar uma nova visão para essa questão, e começam a ser vistas como fonte de água alternativa. Então, a ideia de que as águas residuárias são “um problema que precisa de solução” muda para a ideia de que elas “são parte da solução para os desafios relacionados a falta de recursos hídricos que as cidades enfrentam na atualidade”. Portanto, tomadas brevemente as devidas iniciativas, as projeções são bastante otimistas (WWAP, 2017).

A Meta 6.3 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 corrobora esse cenário e estabelece como meta até 2030, a melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos. Desta forma, seria diminuída à metade a proporção de águas residuárias não tratadas, aumentando sua reciclagem e sua reutilização de forma segura. Portanto, a fim de atingir esse objetivo, percebe-se a necessidade de implantação de soluções seguras e de baixo custo para o reuso da água (WWAP, 2017).

Diversos são os países que já vem fazendo o reuso de águas residuárias. Entre as opções de reutilização, a mais significativa, em termos de volume, é a agricultura, e mesmo assim a reutilização feita representa menos de 1% em volume da demanda total de água requerida pelo setor (Jiménez & Asano, 2008). Ao passo que é importante o aumento da reutilização segura das águas residuárias, é igualmente interessante a recuperação de nutrientes e matéria orgânica presente nelas, como por exemplo na agricultura, considerando que com ela pode-se aumentar a eficiência de produção, bem como reduzir a poluição de corpos hídricos (QADIR, 2020).

Com relação aos tipos de reusos da água residuária, evidencia-se aqui o seu reuso não potável, que por não exigir padrões muito elevados de tratamento, vem tornando-se viável economicamente (DE OLIVEIRA; DE ANDRADE; BROETTO, 2019). Ainda, os potenciais usos das águas de reuso dependem de condições e fatores locais, como por exemplo: decisão política, instituições, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2008).

Existem diversas formas de utilização da água de reuso, podendo ser classificadas como: reuso indireto (planejado ou não) e direto (CETESB, 2021). Ainda, pode-se classificar em reuso potável e não potável (HESPANHOL, 2015). O reuso indireto planejado ocorre, por exemplo, quando os efluentes são descartados depois de tratados no curso hídrico ou em águas subterrâneas a fim de serem utilizados a jusante. Já o reuso direto planejado, ocorre principalmente em indústrias ou quando o destino da água residuária tratada é a irrigação. Nele, o efluente pós tratamento é enviado diretamente ao local de reuso (CETESB, 2021).

O reuso indireto não planejado é constantemente praticado no Brasil, ocorre quando são lançados no corpo hídrico efluentes – tratados ou não –, e a jusante desse lançamento há a captação de água para tratamento e abastecimento público (HESPANHOL, 2015). Na Figura 2 é apresentado fluxograma de potenciais reusos de águas residuárias tratadas.

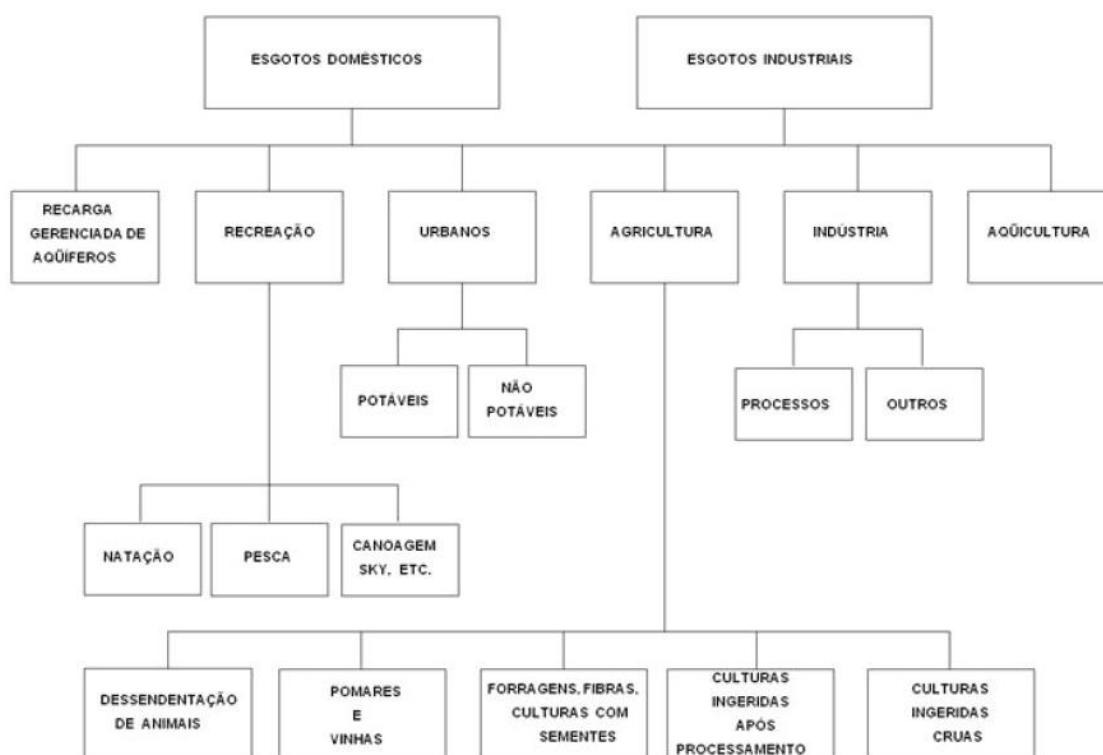


Figura 2 - Potenciais formas de aplicação da água de reuso.

Fonte: HESPANHOL, 2008.

2.2.3. Descrição de parâmetros para avaliação da água de reuso

De forma a avaliar a qualidade das águas de reuso, torna-se necessário descrever alguns dos parâmetros que serão citados no decorrer do estudo, conforme segue:

a) Parâmetros Físicos:

Turbidez: é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água devido à presença de sólidos em suspensão - como por exemplo, partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos (algas, bactérias, plâncton) (CETESB, 2016). Quanto maior a intensidade da luz espalhada, maior quantidade de sólidos em suspensão e maior será a turbidez da amostra analisada. Para sua determinação utiliza-se de turbidímetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (CORREIA et al., 2008).

Condutividade elétrica: representa em número a capacidade de uma água em conduzir corrente elétrica. Ainda, é uma medida indireta da concentração de poluentes, e em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (CETESB, 2016).

b) Parâmetros Químicos

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): geralmente expressa em mg/L, representa a quantidade de oxigênio consumida, durante um período de tempo, para oxidar a matéria orgânica presente para uma forma inorgânica estável – através de decomposição microbiana aeróbia. Quando apresentada na forma $\text{DBO}_{5,20}$, significa que a quantidade de oxigênio consumida foi durante o período de tempo de 5 dias à uma temperatura de incubação de 20°C. Elevados valores de DBO indicam a presença de um alto teor de matéria orgânica, fato que pode induzir ao esgotamento do oxigênio na água (CETESB, 2016).

Potencial hidrogeniônico (pH): têm influência em diversos equilíbrios químicos de ocorrência natural e em processos unitários de tratamento de águas, sendo um parâmetro

importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental (CETESB, 2004). Conforme a Resolução CONAMA 357 (2005), de forma a proteger a vida aquática, o pH deve estar entre 6 e 9.

Cloro residual (Cl₂ residual): parâmetro avaliado que demonstra a eficiência de desinfecção do tratamento aplicado (PROGRAMA INTERÁGUAS, 2017). Ademais, o cloro residual inibe possíveis recontaminações da água de reuso.

c) Parâmetros Biológicos

Coliformes Termotolerantes: São micro-organismos representados principalmente pela *Escherichia coli* e, por bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter* (CETESB, 2016). Sua presença na água indica poluição e risco potencial da presença de organismos patogênicos. Com relação a avaliação da eficiência de processos de tratamento de águas residuárias domésticas pode-se utilizar-se do método de determinação do número mais provável (NMP) de bactérias do grupo coliforme (CETESB, 2018).

Escherichia coli (*E. coli*): é a principal bactéria do subgrupo dos coliformes termotolerantes, sendo de origem exclusivamente fecal. Está sempre presente em elevadas quantidades nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros. Ainda, é considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas doces (CETESB, 2016). Para a avaliação da eficiência de processos de tratamento de águas residuárias domésticas também pode-se utilizar do método de determinação do número mais provável (NMP) de bactéria (CETESB, 2018).

Ovos de helmintos: helmintos são vermes de vida livre ou parasitária. Muitos desses seres habitam o intestino humano podendo causar doenças, sendo por isso denominados de organismos patogênicos. Podem ser encontrados em duas formas: ovos (morfologia de resistência) e larvas (morfologia de multiplicação) (GOVERNO DO BRASIL, 2021).

2.2.4. Legislação vigente sobre água de reuso

No Brasil, ainda não existe legislação em nível nacional para regulamentar a utilização da água de reuso, nem mesmo determinação sobre os padrões de qualidade para usos da mesma. Porém, em alguns estados já existem legislações que versam sobre o tema (MOURA et al., 2020). Ainda, com relação à água de reuso, entende-se que o mercado para esse produto pode ser estimulado por incentivos financeiros ou legais (WWAP, 2017).

No ano de 1997 foi criada a Lei Federal Nº 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Essa lei também ficou conhecida como “Lei das águas” e no seu artigo 1º reconhece a água como um bem público e recurso natural limitado, dotado de valor econômico e que deve ser priorizado o consumo humano e animal, prioritariamente em situações de escassez (BRASIL, 1997).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) foi o responsável pela criação da Resolução nº 54/2005, na qual foram instituídas diretrizes e critérios gerais para o reuso direto não potável de água, considerando redução de custos associados à poluição e consequente contribuição à proteção do meio ambiente e da saúde pública. Em seu 3º Artigo define o reuso direto não potável de água em cinco modalidades: 1. fins urbanos; 2. agrícolas e florestais; 3. Ambientais; 4. Industriais; e 5. Aquicultura (BRASIL, 2005). Porém, essa Resolução não define padrões de qualidade da água de reuso e imputa essa tarefa aos órgãos ambientais (SANTOS et. al., 2021).

Em 2010 foi criada a Resolução nº 121/2010, também pelo CNRH, a qual estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável da água na modalidade agrícola e florestal, em complementação a de nº 54 citada anteriormente (BRASIL, 2010). À nível federal, apenas no ano de 2017 foi publicado pelo Programa Interáguas – programa cujo financiamento é do governo federal – padrões de reuso de água. Ainda, destaca-se que esses padrões foram definidos em diretrizes orientativas e não mandatórias (DA SILVA JUNIOR et al., 2021).

Com relação às Leis e Resoluções Estaduais, destaca-se a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 28 de junho de 2017, do governo do Estado de São Paulo, a qual disciplina o reuso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas (SÃO PAULO, 2017).

Posteriormente, em São Paulo, essa resolução foi reformulada e então publicou-se a Resolução nº 01/2020 (SÃO PAULO, 2020), a fim de disciplinar o reuso da água com base na experiência acumulada no período de vigência da resolução anteriormente citada.

No estado do Rio Grande do Sul, há a Diretriz Técnica FEPAM Nº. 05/2017, a qual versa sobre o descarte e reuso de efluentes líquidos no âmbito do estado do Rio Grande do Sul (RIO GRANE DO SUL, 2019); e a Resolução CONSEMA Nº 419/2020, que estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reuso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais (BRASIL, 2020).

Na Diretriz Técnica supracitada, destaca-se os itens 4.3.2 “Disposição em áreas agrícolas de efluentes sanitários” e 4.5 “Tratamento dos efluentes líquidos e reuso para fins urbanos”. Para a disposição em áreas agrícolas, frisa-se que, conforme a Diretriz, a aplicação do efluente tratado será avaliada apenas às culturas que não são consumidas cruas, pomares, forrageiras (em pasteio direto com restrições de acesso) e áreas de reflorestamento e plantações florestais. Já para a utilização com fins urbanos, é estabelecido pela diretriz que 1. Deve-se definir usos previstos, necessidades de volume e de qualidade para cada uso; 2. Prever solução alternativa para descarte dos efluentes nas épocas de baixa necessidade de reuso ou de problemas operacionais [...]; e 3. Nos casos em que a água de reuso for destinada à irrigação paisagística, deverão ser observadas as concentrações de cloretos e sódio, objetivando minimizar riscos de danos ao solo e a vegetação.

Com relação à Resolução CONSEMA nº 419/2020 (BRASIL, 2020), em seu Art. 5º, destaca-se que na aplicação da água de reuso deverão ser atendidas as condições: I. Manutenção dos padrões de qualidade estabelecidos na Resolução, de acordo com a aplicação de água de reuso; II. Licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental; e III. disponibilidade de registros operacionais. Em seu Art. 6º, destaca-se que na aplicação para fins agrícolas e florestais, para fins de licenciamento, poderá constar como empreendedor o gerador ou o usuário da água de reuso.

Ainda na mesma resolução, em seu Art. 10, divide a água de reuso em duas classes de qualidade, para diferentes usos. Sendo a “Classe A” destinada à irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito (ou seja, que circulem indivíduos que possam vir a ter contato direto com a água de reuso), lavagem de logradouros públicos e lavagem de veículos; e a “Classe B” destinada à irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ao

abatimento de poeira, aos usos na construção civil, em estações de tratamento de efluente e à desobstrução de redes de esgoto pluvial e cloacal. Ainda, evidencia-se que na mesma Resolução define-se as áreas de acesso irrestrito como sendo “parques, praças, jardins, cemitérios, áreas verdes de condomínios, campos de esporte, entre outros”.

2.2.5. Padrões de qualidade para diferentes fins de reuso

Nesse Capítulo serão apresentadas definições de modalidades de reuso, aplicações e diretrizes orientativas estabelecidas à nível federal pelo Programa Interáguas (Tabela 1 e 2), e os critérios e procedimentos, à nível estadual, para a utilização de água de reuso definidos pela Resolução CONSEMA nº 419/2020 (Tabela 3, 4 e 5). Na Tabela 1, de acordo com o Programa, algumas das modalidades previstas de reuso e suas respectivas aplicações:

Tabela 1: Modalidades de reuso Programa Interáguas, descrições básicas e aplicações.

Modalidades de reuso	Descrição Básica	Aplicações Típicas
Agrícola Irrestrito	Irrigação de cultura de alimentos destinados ao consumo humano sem processamento prévio (plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo).	Irrigação de hortaliças e tubérculos (alface, morango, cenouras, etc), culturas hidropônicas.
Agrícola Restrito	Irrigação de cultura de alimentos destinados ao consumo humano sem processamento prévio (plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo); Irrigação de culturas de alimentos que necessitam de processamento antes de serem consumidos e culturas não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas.	Irrigação de milho, batatas, arroz, culturas forrageiras, etc; irrigação de videira, árvores frutíferas.
Urbano Irrestrito	Irrigação paisagística e outros usos urbanos – em áreas públicas.	Irrigação paisagística de parques, escolas, residências, campos de futebol, campos de golfe; usos internos como bacias sanitárias em grandes edifícios, lavagem de logradouros e outros espaços públicos.

Modalidades de reuso	Descrição Básica	Aplicações Típicas
Urbano Restrito	Irrigação paisagística e outros usos urbanos – em áreas restritas (sem contato público frequente e/ou com restrição de acesso).	Irrigação paisagística em rodoviárias, cemitérios, centro comerciais; usos internos; desobstrução de rede de esgoto, construção civil, lavagem de veículos; sistemas de combate a incêndio.
Industrial	Aplicação em vários processos e atividades industriais.	Torres de resfriamento, caldeiras, processo de fabricação, construção civil.

Fonte: Adaptado de Programa Interáguas, 2017.

Tabela 2: Recomendação de critérios mínimos pelo Programa Interáguas para diferentes fins de reuso.

Utilização		Reúso Agrícola Restrito	Reúso Agrícola Irrestrito	Reúso Urbano Restrito	Reúso Urbano Irrestrito	Reúso Industrial
Tratamento ⁽¹⁾		Secundário + Desinfecção ⁽⁵⁾	Secundário + Filtração + Desinfecção	Secundário + Desinfecção ⁽⁵⁾	Secundário + Filtração + Desinfecção	Secundário + Desinfecção ⁽⁷⁾
Parâmetros	Coliformes Termotolerantes	< 10 ³ NMP/100 mL ⁽⁵⁾	< 10 NMP/100 mL	< 10 ³ NMP/100 mL ⁽⁵⁾	< 10 NMP/100 mL	< 10 ³ /100 mL ⁽⁷⁾⁽⁸⁾
	Ovos de helmintos	< 1 ovo de helminto/L ⁽⁵⁾	< 1 ovo de helminto/L	< 1 ovo de helminto/L ⁽⁵⁾	< 1 ovo de helminto/L	-
	pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	-
	DBO	< 30 mg/L	< 15 mg/L	< 30 mg/L	< 15 mg/L	-
	Turbidez	-	≤ 5 UNT	< 5 UNT	< 5 UNT	-
	Cl ₂ Residual	1 mg/L ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	1 mg/L ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	1 mg/L ⁽²⁾⁽⁶⁾	1 mg/L ⁽²⁾⁽⁶⁾	-
Monitoramento	Coliformes Termotolerantes	Mensal ⁽⁴⁾	Semanal ⁽⁴⁾	Mensal	Semanal	Mensal ⁽⁷⁾
	Ovos de helmintos	Anual ⁽⁴⁾	Mensal ⁽⁴⁾	Mensal	Mensal	-
	pH	Mensal ⁽⁴⁾	Mensal ⁽⁴⁾	Mensal	Mensal	-
	DBO	Mensal ⁽⁴⁾	Mensal ⁽⁴⁾	Mensal	Mensal	-
	Turbidez	-	Contínuo ⁽⁴⁾	-	Contínuo	-
	Cl ₂ Residual	Contínuo ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	Contínuo ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	Contínuo ⁽²⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾	Contínuo ⁽²⁾⁽⁶⁾	-

¹Caso outro tipo de tratamento além dos recomendados atenda aos critérios apresentados na tabela o mesmo poderá ser considerado, o que deverá ser avaliado durante o processo de licenciamento do projeto de reúso.

²Ou desinfecção alternativa.

³Cloro residual no final do tratamento para demonstrar a eficiência da desinfecção e manutenção do sistema de distribuição. Não aplicável se a desinfecção for dispensada conforme nota 5.

⁴Após um ano de operação contínua, a frequência de monitoramento poderá ser revisada.

⁵Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

⁶Cloro residual no final do tratamento para manutenção do sistema de distribuição. Não aplicável se a desinfecção for dispensada conforme nota 5.

⁷Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores e drifting forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

⁸Para torres de resfriamento com recirculação – 90m de distância de áreas acessíveis ao público. A distância pode ser reduzida caso nível de desinfecção alto for implementado.

Fonte: Adaptado de Programa Interáguas, 2017.

Com relação ao cloro residual, ressalta-se que, de acordo com o Programa Interáguas (2017), para a desinfecção com cloro é recomendado um cloro residual de 1 mg/L e um CT de 50 mg-min/L - sendo o CT definido como o produto da concentração do agente de desinfecção e o tempo de contato com o efluente para sua ação (METCALF & EDDY, 2016). No caso de utilização de outro tipo de desinfecção, conforme o Programa, é recomendado o monitoramento de outro parâmetro adequado – que não o cloro residual. Ademais, com relação às modalidades de reuso agrícola – restrito ou irrestrito –, cabe evidenciar que o Programa também sugere alguns exemplos de parâmetros de potencial interesse para o usuário e proteção do meio ambiente, além dos parâmetros associados à proteção da saúde pública. Entretanto, não apresenta valores orientativos. Abaixo os parâmetros sugeridos:

Exemplos de parâmetros de interesse para o usuário: Condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT), razão de adsorção de sódio (RAS), nutrientes, metais pesados [...] tóxicos para plantas, sólidos suspensos totais (SST) que podem prejudicar os sistemas de irrigação.

Exemplos de parâmetros de interesse para proteção do meio ambiente: Condutividade, SDT, RAS, nutrientes [...], metais pesados, e outros parâmetros que podem impactar as plantas, os solos, as águas superficiais e/ou as águas subterrâneas (PROGRAMA INTERÁGUAS, 2017).

Com base na esfera Estadual, baseando-se na Resolução CONSEMA 419/2020, é necessário definir para fins de utilização urbana duas classes de qualidade da água de reuso, sendo elas descritas conforme segue:

I - Classe A: água de reuso destinada à irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros públicos e lavagem de veículos;

II - Classe B: água de reuso destinada à irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ao abatimento de poeira, aos usos na construção civil e em estações de tratamento de efluente e à desobstrução de redes de esgoto pluvial e/ou cloacal (BRASIL, 2020).

A partir disso, evidencia-se na Tabela 3 os padrões de qualidade da água de reuso estabelecidos para fins de utilização urbana. Com relação a utilização para fins agrícolas e florestais, apresenta-se a Tabela 4, com parâmetros e respectivos limites para análise e

monitoramento, e, torna-se importante evidenciar que, conforme definido na CONSEMA 419/2020, o reuso para fins agrícolas e florestais é a “aplicação de água de reúso para produção agrícola, cultivo de florestas plantadas e recuperação de áreas degradadas”. Ademais, torna-se importante destacar que a Resolução permite a determinação da *Escherichia coli* (*E. coli*) em substituição ao parâmetro de coliformes termotolerantes, sendo responsabilidade do órgão ambiental definir a proporção de correlação entre os parâmetros.

Tabela 3: Padrões de qualidade para utilização da água de reuso para fins urbanos - Resolução CONSEMA nº 419/2020.

Utilização	Fins Urbanos	
Parâmetros	Classe A	Classe B
Coliformes Termotolerantes	< 200 NMP/100 mL	< 10 ³ NMP/100 mL ⁽¹⁾
Ovos de helmintos	< 1 ovo/L	Não se aplica
Cloro Residual Total ⁽²⁾		< 1 mg/L
Condutividade elétrica ⁽²⁾		<3 dS/m

¹Quando o destino da água de reuso for para fins de desobstrução de redes de esgoto pluvial ou cloacal é dispensado seu atendimento

²Aplica-se quando o destino é o reuso para fins de irrigação paisagística

Fonte: adaptado de Brasil, 2020.

Tabela 4: Padrões de qualidade para utilização da água de reuso para fins agrícolas e florestais - Resolução CONSEMA nº 419/2020.

Utilização	Fins Agrícolas e Florestais
Parâmetros	Padrão de Qualidade
pH	Entre 6 e 9
Alumínio	5 mg/L
Arsênio	0,1 mg/L
Bário	5 mg/L
Boro	0,5 mg/L
Cádmio	0,01 mg/L
Chumbo	0,5 mg/L
Cianeto	0,2 mg/L
Cloreto	106,5 mg/L
Cobalto	0,05 mg/L
Cobre	0,2 mg/L
Cromo total	0,5 mg/L
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Ferro	5 mg/L
Fluoreto	10 mg/L
Manganês	0,2 mg/L

Utilização	Fins Agrícolas e Florestais	
Parâmetros	Padrão de Qualidade	
Mercúrio	0,01 mg/L	
Molibdênio	0,5 mg/L	
Níquel	0,2 mg/L	
Selênio	0,02 mg/L	
Sulfeto	1 mg/L	
Vanádio	0,1 mg/L	
Zinco	2 mg/L	
Óleos e Graxas: mineral	10 mg/L	
Óleos e graxas: vegetal ou animal	30 mg/L	
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,1 mg/L	
Coliformes Termotolerantes	10 ⁴ NMP/100 mL	
Ovos de helmintos	1 Ovo/L	
Relação entre a Razão de Adsorção de Sódio e Condutividade Elétrica ⁽¹⁾		
RAS	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (dS/m)	
	Mínima	Máxima
0-3	0,2	2,9
3-6	1,2	2,9
6-12	1,9	2,9

OBS: níveis de RAS acima de 12 não são aceitáveis devido ao risco de sodicidade do solo. Ainda, a RAS deverá estar correlacionada com a condutividade elétrica a fim de reduzir problemas com permeabilidade de solos.

¹A água de reuso destinada à irrigação paisagística deverá também atender aos critérios aqui estabelecidos

Fonte: adaptado de Brasil, 2020.

Ainda, nessa Resolução está previsto que a frequência do monitoramento dos parâmetros deve ser conforme descrito na Tabela 5, diferenciando-se em relação as diferentes vazões da água de reuso - com exceção para os casos em que o órgão licenciador, com justificativa técnica, exige monitoramento com frequência diferente (BRASIL, 2020).

Tabela 5: Frequência de monitoramento dos parâmetros da água de reuso - Resolução CONSEMA n° 419/2020.

Vazão da água de reuso (m³/dia)	Frequência
Q ≤ 150	Semestral
150 < Q ≤ 300	Trimestral
300 < Q	Bimensal

Fonte: BRASIL, 2020.

No tangente a utilização da água de reuso para fins industriais, a Resolução CONSEMA 419/2020 estabelece que “a qualidade e quantidade da água de reuso para fins industriais deverão obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina”. Portanto, nela não são apresentados parâmetros e critérios para monitoramento.

2.2.6. Tratamentos adicionais

Conforme da Silva Junior et al. (2021), é importante perceber que se forem necessárias adequações nas ETEs para a realização da prática de reuso, isso será mais praticável em plantas que já possuem, no mínimo, etapa secundária em operação. Entretanto, não necessariamente ter a etapa secundária resulta em um efluente de qualidade compatível ao reuso que se quer implementar. Além disso, a qualidade do efluente da ETE é de suma importância para a definição correta da(s) unidade(s) adicional(is) de tratamento – quando necessário - e à que fim se destina a água de reuso. Em aplicações que requerem parâmetros mais restritivos, pode ser necessária a implementação de um sistema terciário a fim de realizar o polimento do efluente secundário – contemplando, dessa forma, uma etapa de desinfecção ou até mesmo de remoção de nutrientes. Sendo assim, tanto o fim a que se destina a água de reuso quanto seus respectivos padrões requeridos serão os fatores responsáveis pela determinação do nível de tratamento necessário.

Ainda, a partir de diferentes arranjos de tecnologias, pode-se obter diferentes qualidades de água de reuso, fato esse que está diretamente ligado à viabilidade desses empreendimentos (DA SILVA JUNIOR et al., 2021). Para fins de reutilização não potável da água de reuso, o Programa Interáguas recomendada tecnologias de tratamento sanitário para usos específicos, conforme evidenciado na Figura 3. De modo geral, a recomendação é a utilização de um sistema de tratamento secundário seguido por etapa de desinfecção ou, de forma a atender critérios mais restritivos, secundário seguido por filtração e desinfecção (PROGRAMA INTERÁGUAS, 2017).

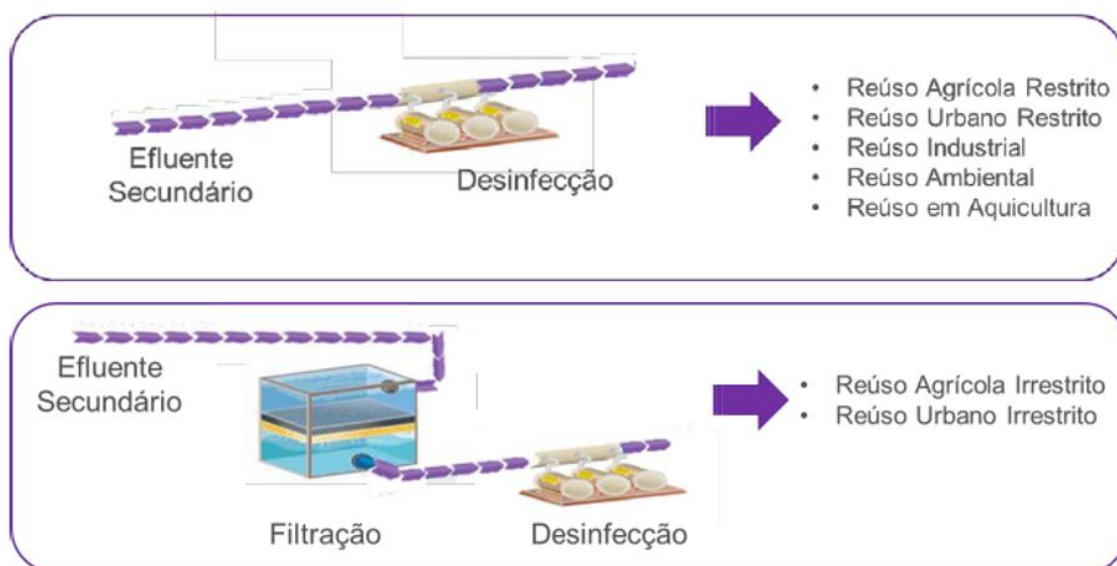


Figura 3 - Recomendação de nível de tratamento mínimo para reusos não potáveis.

Fonte: Adaptado de PROGRAMA INTERÁGUAS, 2017.

2.2.7. Aplicações da água de reuso

De maneira geral, águas residuárias derivadas de fontes domésticas não possuem substâncias perigosas em sua constituição. Entretanto, há preocupação com poluentes, como por exemplo medicamentos, que mesmo que em pequenas concentrações a longo prazo podem gerar consequências para a saúde (WWAP, 2017). É de fundamental importância, qualquer que seja a aplicação da água de reuso, observar alguns princípios básicos, tais como: preservação da saúde de quem irá fazer a utilização da água, preservação do meio ambiente e observação às exigências de qualidade com relação ao uso pretendido (HESPANHOL, 2008).

Para a viabilidade econômica de aplicação da água de reuso, faz-se necessário que o local de aplicação dessa água seja próximo ao local de produção desse efluente. Ademais, o tratamento adequado à finalidade aumenta o potencial de recuperação dos custos empregados. Para um cenário mais competitivo de utilização dessas águas residuárias tratadas é necessário também que os preços da água potável reflitam o custo da oportunidade de uso dessa água (WWAP, 2017).

O potencial de reutilização de águas residuárias domésticas tratadas a nível municipal e urbano é alto, existindo diversas formas de reutilização para fins não potáveis,

sendo elas: irrigação de gramados e parques; canteiros de rodovias e acostamentos; controle de poeira e construção; resfriamento industrial; descarga de banheiro; lavagem de veículos; dentre outras aplicações (US EPA, 2012). Para a reutilização urbana das águas residuais primeiramente é necessário conhecer a constituição dessa água e avaliar sua aplicação conjuntamente da localização. Como motivadores para a reutilização dessa água residuária, é possível elencar as imposições legislativas e principalmente interesses econômicos. Ainda, a escassez de água é um fator importante de ser considerado, pois em locais em que essa situação ocorre, a necessidade favorece a reutilização (WWAP, 2017).

Na irrigação, as águas residuais não tratadas ou diluídas vêm sendo utilizadas há séculos. Quando tratadas de maneira apropriada e aplicadas com segurança, as águas residuárias domésticas são importantes fontes de água e nutrientes. Estudos realizados no Sudeste Asiático mostraram que as rendas geradas por subprodutos das águas residuárias, como por exemplo fertilizantes, são consideravelmente mais elevadas do que as despesas operacionais dos sistemas de tratamento dessas águas. Fato esse que demonstra a lucratividade e estabelece a recuperação de recursos a partir de águas residuais como um modelo de negócio lucrativo (WWAP, 2017).

Essa utilização na irrigação é uma prática que têm se apresentado próspera em áreas urbanas e periurbanas, nas quais há grande disponibilidade de águas residuárias, sendo comum em países do Oriente Médio, do Norte da África e do Mediterrâneo, bem como Austrália, China, México e EUA (WWAP, 2017). Ademais, as vantagens em se utilizar a água residuária tratada na irrigação são diversas, pois além de ser uma fonte constante de água, reduz o volume extraído do meio ambiente, e em alguns casos, os padrões de tratamento que necessitam ser atingidos para essa utilização são menos restritivos do que para a de ambiente urbano (TOZE, 2006).

Com relação às indústrias, as águas residuárias tratadas oferecem oportunidades para o aproveitamento sustentável e confiável da água, principalmente em cidades que dependem de fontes de água distantes e/ou necessitam de fontes de água alternativas de forma a suprir sua demanda (WWAP, 2017). As aplicações abrangem os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, entre outros (OLIVEIRA et al. 2019).

A partir de um levantamento realizado pelo Programa Interáguas sobre impulsores de reuso e grandes oportunidades por modalidade (reuso agrícola e aquicultura; industrial; urbano; e potável) por região do Brasil, destaca-se na Tabela 6, adaptada do Programa, as informações referentes à região Sul. É importante destacar que com relação ao reuso industrial e urbano, o Programa dá destaque para oportunidades existentes na Região Metropolitana de Porto Alegre (PROGRAMA INTERÁGUAS, 2018).

Tabela 6: Impulsionadores do reuso de água residuária tratada e oportunidades por modalidade na região Sul do Brasil.

Região	Impulsionadores Primários no Curto/Médio Prazo		
Sul	Necessidade de fonte de água adicional particularmente em grandes centros urbanos.		
Oportunidades Potencialmente Viáveis no Curto/Médio Prazo			
Reuso Agrícola e Aquicultura	Reuso Industrial	Reuso Urbano	Reuso Potável e outras
Setor que consome mais água no Sul e que provavelmente apresenta boa oportunidade para reuso; [...]	Sem consumo expressivo. Apresentaria oportunidades de reuso em polos industriais (ou para termelétricas de grande porte) onde existe ETE próxima, como por exemplo na Região Metropolitana (RM) de Porto Alegre, Curitiba e de Joinville.	Oportunidade nas grandes regiões metropolitanas, como por exemplo Curitiba e Porto Alegre, particularmente associadas a novos empreendimentos / negócios.	Oportunidades de RPI ⁽¹⁾ existem particularmente onde existe proximidade das ETES dos reservatórios. Se existirem oportunidades de RPD ⁽²⁾ , serão muito pontuais.

¹RPI = Reuso Potável Industrial

²RPD = Reuso Potável Direto

Fonte: Adaptado do Programa Interáguas, 2018.

2.2.8. Experiências Nacionais

No Brasil, o reuso de água vem sendo praticado, entretanto, ainda de maneira incipiente. Além disso, é difícil a obtenção de informações a respeito dessa prática pelos empreendimentos e companhias, mesmo naqueles em que o reuso já é institucionalizado. De maneira geral, os projetos de reuso de água no Brasil se inserem nos contextos urbano, agrícola e industrial. (SANTOS et al., 2021), sendo essas experiências abordadas a seguir.

2.2.8.1. Reuso urbano

A Estação de Tratamento de Água de Reuso (ETAR), localizada na cidade de Armação dos Búzios, é um exemplo da aplicação de água residuária tratada para reuso urbano. A ETAR é operada pela Prolagos, empresa da Aegea Saneamento. Foi inaugurada em 2013 com capacidade para produzir mais de 2 milhões de litros de água de reuso mensalmente, sendo parte direcionada ao campo de golfe Búzios. A ele, são direcionados cerca de 40 mil litros de água de reuso por dia para irrigação de grama, a qual requer alto nível de potabilidade. Com relação ao processo à que essa água de reuso é submetida, informa-se que a ETAR recebe esgoto tratado da ETE Búzios – a qual possui tratamento em nível terciário, com remoção de nitrogênio, fósforo e desinfecção por ultravioleta. Na ETAR o efluente ainda passa pelas etapas de filtração, ultra filtração e osmose reversa, ou seja, por uma etapa de polimento antes de ser enviado para a irrigação (Prolagos, 2021).

O Serviço Municipal de Águas e Esgotos (SEMAE) de Mogi das Cruzes (São Paulo) é outro exemplo do emprego da água residuária tratada para fins de utilização urbana. Dos 120 L/s de esgoto tratados na ETE Cezar de Souza, cerca de 110 L/s são transformados em água de reuso, sendo essa água utilizada em obras públicas, irrigação e limpeza urbana. Essa água de reuso é utilizada pela Prefeitura e pelas empresas que prestam serviço público. Diariamente, caminhões-pipa da Secretaria de Serviços Urbanos (SSU) da cidade de Mogi das Cruzes abastecem-se de água residuária tratada na ETE e a utilizam para a realização de limpezas urbanas, irrigação paisagística, desobstrução de galerias pluviais e perfurações do solo. Além disso, o SEMAE, para realizar a desobstrução de redes de esgoto também utiliza dessa água, bem como algumas empresas privadas – dentre elas as empreiteiras que prestam serviços para a Prefeitura – as quais compram essa água de reuso para realização de testes em tubulações e usos gerais nas obras (PREFEITURA DE MOGI DAS CRUZES, 2021).

Na cidade de São Caetano do Sul (São Paulo) o mesmo ocorre, o esgoto tratado pela ETE da Sabesp é utilizado para fins urbanos pela Prefeitura Municipal. A água de reuso é empregada na lavagem de vias públicas, rega de áreas verdes e para a desobstrução de redes de esgoto e galerias de águas pluviais (SAESA, 2021). Em Campinas – SP não é diferente, em 2014 foram anunciadas medidas de enfrentamento à escassez hídrica no município e destacam-se algumas medidas, como por exemplo: 1. Regulamentação no âmbito municipal para utilização de água de reuso (hoje revogada devido à publicação pelo

Estado de São Paulo da Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01/2017); 2. Instalação de reservatórios para utilização de água de reuso nas atividades do Corpo de Bombeiros; e 3. Implantação de unidades de comercialização e distribuição de água de reuso a granel para consumo de grandes volumes (OLIVEIRA, 2014).

A SANASA, empresa responsável pelos serviços de saneamento básico em Campinas, oferece modalidades de compra de água de reuso, podendo ela ser entregue pela SANASA dentro do município de Campinas ou então retirada pelo comprador na Estação de Produção de Água de Reuso (EPAR) com caminhão próprio. Os valores praticados pela companhia estão disponíveis no próprio site e são evidenciados aqui: para a entrega da água de reuso o valor é de R\$ 290,19 para 07 m³ ou de R\$ 369,34 para 14 m³. Para retirar com caminhão próprio o valor de 1 m³ é de R\$ 2,25 (SANASA, 2021).

2.2.8.2. Reuso na agricultura

No interior de São Paulo, especificamente na cidade de Lins, foi instalado um centro experimental especializado em pesquisas sobre a utilização de água residuária tratada para irrigação na agricultura. A iniciativa surgiu em 2001 a partir de uma parceria entre a Sabesp e a USP, e vem desde então rendendo diversas pesquisas e resultados sobre o tema (SÃO PAULO (ESTADO), 2021). Os estudos desenvolvidos no local avaliaram desde o cultivo de flores em sistemas hidropônicos (PIVELI; DE CAMARGO CARMELLO, 2003) até o cultivo de café, cana de açúcar, capim, milho e girassol (SILVA, 2008).

O centro experimental foi construído ao lado da ETE do Município de Lins – SP, que tem o tratamento de esgoto através do denominado sistema australiano – lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas fotossintéticas. O efluente, após passar pela lagoa facultativa, é direcionado ao campo experimental a fim de realizar a desinfecção do mesmo e em seguida, direcionado à aplicação agrícola. Os resultados do reuso do efluente tratado nas pesquisas desenvolvidas foram bastante promissores, além da garantia hídrica que o reuso representa, existem no efluente nutrientes potencialmente aproveitáveis agronomicamente, fato esse que representa economia para tal aplicação e do ponto de vista ambiental evita a eutrofização do curso hídrico no qual o efluente seria lançado (MENDONÇA; PIVELI, 2004).

Outra aplicação interessante da água de reuso é para irrigação de arroz. Em pesquisa desenvolvida no Centro de Pesquisa da Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), vinculada à Universidade Federal da Paraíba, foi avaliado o desempenho da cultura de arroz irrigado com efluente de esgoto sanitário previamente tratado - proveniente de taque séptico e lagoa de estabilização. A pesquisa comparou o desempenho da cultura irrigada com os efluentes e com a água de abastecimento com solos fertilizados com e sem adubos. Como resultado, obteve que a maior produtividade ocorreu com a utilização da irrigação com efluente de tanque séptico (SOUSA et al., 2005).

2.2.8.3. Reuso na indústria

O Projeto Aquapolo é um exemplo de sucesso da utilização de água residuária tratada na indústria. O mesmo foi implantado em São Paulo a fim de abastecer o Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da Região do ABC Paulista. Hoje, abastece no Polo 14 plantas industriais com água residuária tratada. Ainda, a região que pertence à sub-bacia do Alto Tietê, possui escassos recursos hídricos, sendo esse um dos motivos para a criação do Projeto (Aquapolo, 2021).

O projeto nasceu de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) firmada entre a SABESP e a empresa Foz do Brasil, compondo a empresa Aquapolo Ambiental S.A. A Estação de Produção de Água Industrial (“EPAI”), construída dentro da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ABC da Sabesp, tem capacidade para tratar 1000 L/s e utiliza o esgoto tratado através do processo de lodos ativados da própria ETE-ABC como seu principal insumo. Após o tratamento do esgoto pela Sabesp, o efluente que teria destinação final em corpo hídrico, tem parte de sua vazão desviada para o Aquapolo, para o início de um novo tratamento (Aquapolo, 2021).

Para a obtenção da água industrial no Aquapolo, o esgoto é submetido à filtros de discos – para retenção de partículas maiores que 400 µm; processos biológicos anóxicos e aeróbios – através de reator biológico tipo carrossel que proporciona alta eficiência para remoção de sólidos; e separação física do lodo ativado – através de membranas de ultrafiltração – quando necessário. Ainda, como o efluente que foi tratado pela ETE da Sabesp possui déficit de matéria orgânica devido à eficiência de seu tratamento, a Aquapolo desenvolveu parceria com uma grande cervejaria que fornece produtos não conformes e de

lavagens de garrafas de forma a inserir no sistema nutrientes para os microorganismos presentes nos processos biológicos do tratamento da EPAI (Aquapolo, 2021).

Após todo o processo, a água é distribuída por uma adutora de 17 km, que sai de São Paulo, passa por dois municípios e chega em uma torre de distribuição em Capuava, município de Mauá, onde encontra-se o Polo Petroquímico de Capuava. A partir dessa torre, uma rede de distribuição de 3,6 km entrega a água industrial para os clientes. Ainda, de forma a permitir atendimento de novos clientes no futuro, a adutora foi planejada para permitir derivações. Na Figura 4 encontra-se a ilustração do fluxo dos processos de obtenção da água industrial na EPAI do Projeto Aquapolo (Aquapolo, 2021).



Figura 4 - Desenho esquemático da EPAI da Aquapolo Ambiental.

Fonte: Revista Valor Econômico, 2021 apud Aquapolo, 2021.

A água industrial obtida no processo de tratamento pode ser aplicada em torres de resfriamento e também como matéria prima para produção de vapor, substituindo o emprego da água potável. Ademais, a garantia da água é o principal benefício da utilização de água industrial proveniente do Aquapolo, pois como a fonte de produção dessa água é o esgoto tratado, mesmo em momentos de crise hídrica não ocorre desabastecimento. Além

disso, a utilização dessa água industrial produzida a partir do reuso do esgoto tratado traz maior sustentabilidade às empresas e evidencia maior compromisso com a responsabilidade ambiental e social (Aquapolo, 2021).

2.3. Metodologia de avaliação do potencial regional de reuso de água residuária tratada

Santos et al. (2021), da Silva Avelar et al. (2021), da Silva Junior et al. (2021) e de Mendonça Lima (2021) propuseram uma metodologia de avaliação do potencial regional de reuso de água no Brasil através de um conjunto de quatro Notas Técnicas (NT). Nelas, são apresentadas informações para o desenvolvimento de projetos no setor de saneamento; caminhos para estudos de avaliação de potencial de reuso da água residuária - considerando aspectos de demanda e oferta de água de reuso; e questionamentos sobre os desafios relacionados com o futuro do reuso de água e sua relevância para o Brasil.

Na NT 03, da Silva Junior et al. (2021) trazem que os dados de principal interesse para a avaliação do potencial de reuso da água são os seguintes: localização georreferenciada; vazão média (atual e futura); tecnologias de tratamento; e desempenho e qualidade final do efluente. Ainda, é importante a verificação de eventuais planos de expansão da capacidade de tratamento. Na Figura 5 apresenta-se esquematização dos aspectos citados, os quais serão utilizados como norteadores do trabalho em questão.

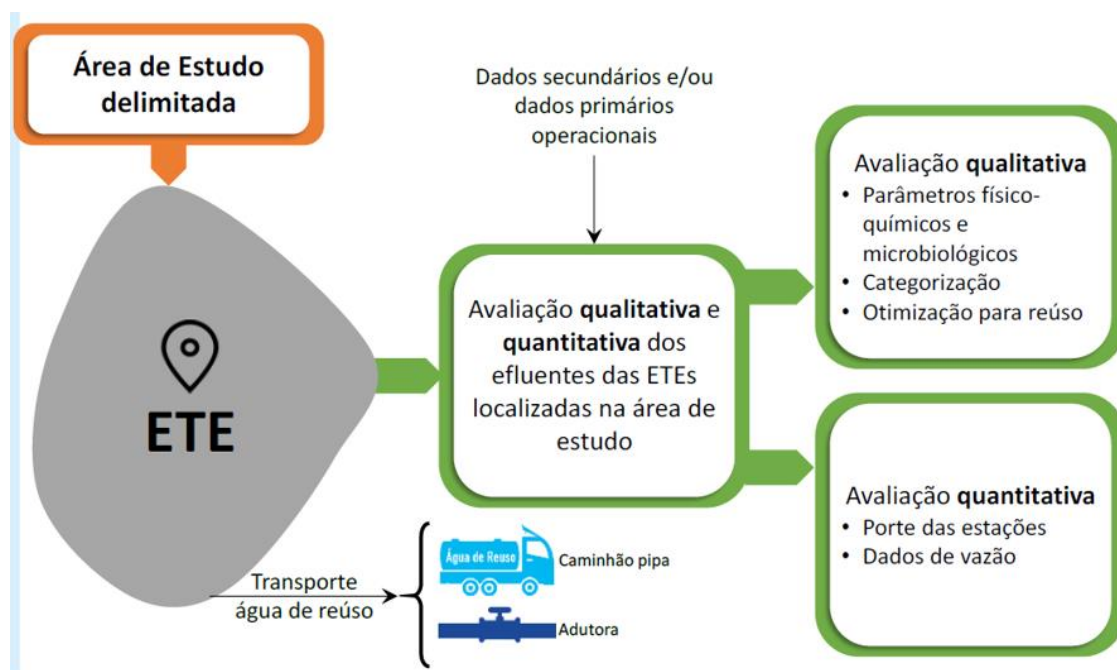


Figura 5 - Diagrama esquemático dos principais aspectos relacionados ao levantamento e localização das ofertas de água de reúso, bem como avaliações dos efluentes produzidos.

Fonte: Adaptado de da Silva Junior et al., 2021.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em oito etapas, sendo elas a escolha da ETE, obtenção de dados analíticos, caracterização, parâmetros analisados, verificação e comparação entre legislação e normativas, verificação de atendimento de parâmetros para fins de reuso, recomendação de monitoramento de parâmetros, apresentação de possíveis tratamentos adicionais e análise financeira de implantação de um sistema de tratamento adicional. A metodologia utilizada é apresentada neste capítulo.

3.1. ETE Mato Grande: estudo de caso e justificativa

Nesse trabalho, a fim de avaliar as águas residuárias tratadas e potenciais reusos conforme a qualidade do efluente gerado, optou-se pelo estudo de caso da ETE Mato Grande. Primeiramente, definiu-se a região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, como um local de interesse. Após a verificação das ETEs existentes na região metropolitana, foi definida a ETE Mato Grande dentre tantas outras da região metropolitana devido à dois fatores: 1. Elevado número de habitantes em Canoas e conseqüentemente grandes possibilidades de aplicação da água de reuso; e 2. Obras de ampliação e modernização da ETE em questão, previstas no Contrato nº 218/19 - DEGEC/SULIC, firmado entre a CORSAN e o CONSÓRCIO AQUAMEC AGR CONSTER.

Ainda, informa-se que na referida ETE já realiza-se o reuso do esgoto tratado para os serviços de limpeza e desobstrução de redes de esgoto. Entretanto, o volume de reuso ainda é pequeno quando comparado ao volume de esgoto que é tratado.

3.2. Obtenção de dados analíticos

Os resultados analíticos - utilizados para análise da empregabilidade do reuso da água para fins urbanos, agrícolas e industriais - da ETE Mato Grande foram obtidos através do Relatório Operacional e Analítico (ROA) nº 11/2021 – AM. Nele constam os laudos analíticos referentes aos meses de janeiro à junho de 2021, fornecidos pela empresa Ambiental Metrosul à Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) de Canoas, órgão responsável pelo licenciamento da referida ETE. Ainda, fora também utilizado - para fins

de consulta sobre os parâmetros analisados - o ROA nº 50/2020 – DECE/SUTRA, elaborado pela CORSAN em atendimento à Licença de Operação (LO). Ambos os documentos foram fornecidos pela SMMA de Canoas.

3.3. Caracterização da ETE

A ETE Mato Grande localiza-se na Av. Engenheiro Irineu Carvalho Braga, 98, Bairro Rio Branco, em Canoas/RS. O município localiza-se na Região Metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, e possui, de acordo com o IBGE (2021), população estimada em 349.728 habitantes em uma área de 130,789 km² (IBGE, 2020).

A ETE em questão possui LO (Nº 67/2019) emitida pelo órgão municipal e, atualmente, conforme LO, têm capacidade para atendimento de aproximadamente 129.450 habitantes, ou seja, 37% da população do município. É operada atualmente por empresa parceira da Corsan, através do contrato de Parceria Público Privada (PPP) firmado com a Ambiental Metrosul – uma das concessionárias da Aegea Saneamento.

A capacidade de tratamento da referida ETE hoje é de 260 L/s (ou 22.464 m³/dia), conforme estabelecido na LO, e com a finalização da modernização e ampliação da mesma passará a ser de 965 L/s (ou 83.376 m³/dia), conforme disposto em sua Licença de Instalação (LI) Nº 2712/2016. A Figura 6 apresenta o mapa de localização da ETE.

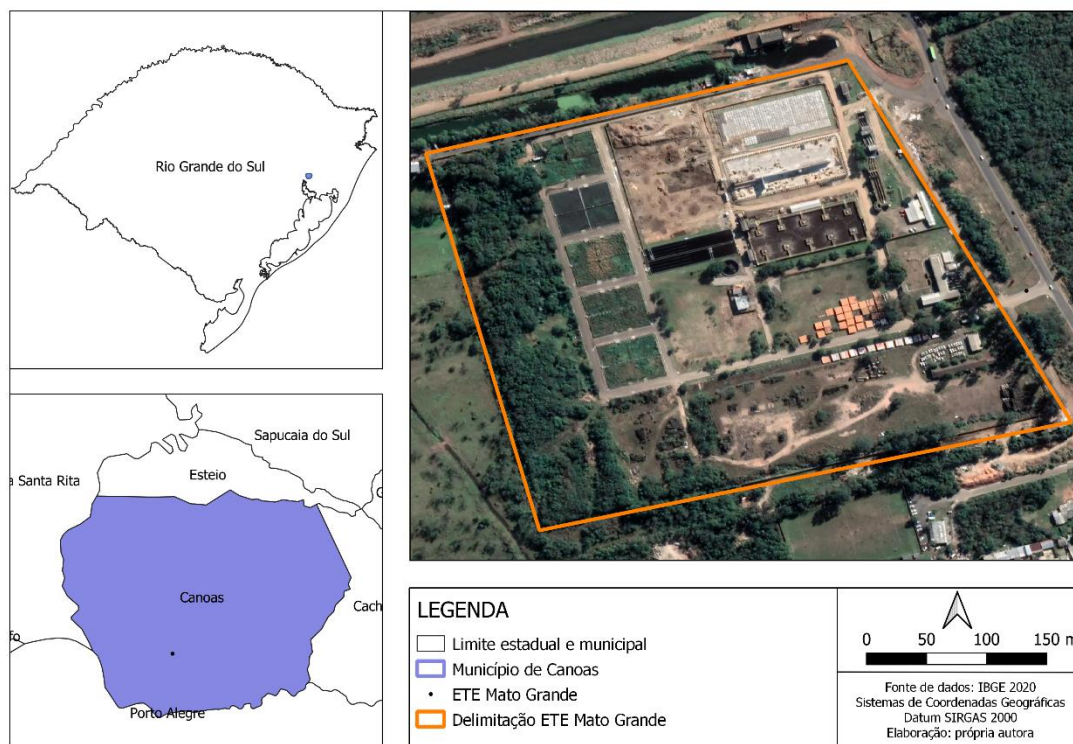


Figura 6 - Localização Estação de Tratamento de Esgoto Mato Grande.

Fonte: autora, 2021.

De acordo com a LO válida, o tratamento se dá por meio de lodos ativados, por aeração prolongada e fluxo contínuo, sendo o sistema composto pelas etapas evidenciadas na Figura 7, a qual apresenta todo o processo de tratamento. O lançamento do efluente tratado ocorre no canal de Macro drenagem do Polder Rio Branco, que localiza-se ao lado da ETE.



Figura 7 - Componentes do sistema de tratamento da ETE Mato Grande.

Fonte: Adaptado do ROA Nº 11/2021 – AM, 2021.

As etapas do processo de tratamento, evidenciadas na Figura 7, são descritas a seguir, conforme consta no ROA nº 11/2021 - AM da ETE Mato Grande:

1. Na etapa de gradeamento acontece a separação de sólidos grosseiros - plásticos, tecidos, objetos, madeira, dentre outros – os quais ficam retidos nas grades;

2. No desarenador ocorre a remoção de areia por meio do processo de sedimentação;

3. No tanque de aeração (lodos ativados) acontecem processos biológicos de remoção da matéria orgânica através da ação de microrganismos aeróbios que estão presentes no lodo ativado. Para que o processo ocorra, os aeradores do sistema injetam ar no tanque, fazendo com que a quantidade de oxigênio dissolvido seja aumentada, além disso, promovem a agitação e mistura da biomassa com a matéria orgânica;

4. No decantador secundário acontece a sedimentação dos flocos de lodo oriundos do tanque de aeração, sendo o efluente decantado direcionado para lançamento em corpo hídrico. Ainda, cabe evidenciar que a maior parte da biomassa sedimentada retorna ao

tanque de aeração, elevando, dessa forma, a concentração de microrganismos. A biomassa que não retorna ao tanque é descartada para o sistema de tratamento de lodo.

5. Na etapa de adensamento de lodo ocorre a diminuição da quantidade de água presente no lodo que será descartado, entretanto, essa etapa atualmente está fora de operação.

6. Os leitos de secagem recebem o lodo descartado e no local ocorre a desidratação desse lodo através de drenagem e evaporação da água.

3.4. Parâmetros analisados na ETE

Na referida ETE, em conformidade com sua LO, são realizadas análises para os parâmetros descritos na Tabela 7. Nela também constam os padrões de emissão a serem atendidos no lançamento do efluente em corpos hídricos, bem como, a frequência de medição.

Tabela 7: Parâmetros e padrões de emissão do efluente.

Parâmetro	Padrão de Emissão a ser atendido	Frequência de Medição
DBO _{5,20}	≤ 40 mg O ₂ /L	mensal
DQO	≤ 150 mg O ₂ /L	mensal
Temperatura	< 40 °C	diária
pH	entre 6,0 e 9,0	diária
Coliformes Termotolerantes	concentração (NMP/100ml)10 ³ ou 95% de eficiência	mensal
Materiais Flutuantes	ausentes	mensal
Sólidos Sedimentáveis	≤ 1,0 ml/L em teste de 1 (uma) hora em "Cone Imhoff"	mensal
Sólidos Suspensos	≤ 50 mg/L	mensal
Nitrogênio Amoniacal	≤ 20 mg/L	mensal
Fósforo Total	≤ 1 mg P/L ou 75% de eficiência	mensal
Óleos e Graxas Total	≤ 30 mg/L	mensal

Fonte: LO 67/2019 – Secretaria Municipal de Meio Ambiente – Município de Canoas.

Além dos parâmetros evidenciados na Tabela 7, devem ser realizadas análises, conforme estabelecido na LO, de afluente e efluente, em uma frequência trimestral, para

os demais parâmetros da Resolução CONSEMA nº 355/2017, sendo os mesmos evidenciados na Tabela 8 com seus limites de emissão.

Tabela 8: Parâmetros CONSEMA nº 355/2017

Parâmetros	Padrão de emissão
Alumínio Total	10 mg/L
Arsênio total	0,1 mg/L
Bário total	5,0 mg/L
Boro total	5,0 mg/L
Cádmio total	0,1 mg/L
Cianeto total	0,2 mg/L
Cobalto total	0,5 mg/L
Cobre total	0,5 mg/L
Cor	não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Cromo total	0,5 mg/L
Chumbo total	0,2 mg/L
Espumas	Virtualmente ausentes
Estanho total	4,0 mg/L
Fenóis total (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,1 mg/L
Ferro Total	10 mg/L
Fluoreto	10 mg/L
Lítio total	10 mg/L
Manganês total	1,0 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausentes
Merúrio total	0,01 mg/L
Molibdênio total	0,5 mg/L
Níquel total	1,0 mg/L
Odor	Livre de odor desagradável
Óleos e Graxas: mineral	≤ 10 mg/L
Óleos e graxas: vegetal ou animal	≤ 30 mg/L
pH	Entre 6,0 e 9,0
Prata total	0,1 mg/L
Selênio total	0,05 mg/L
Sólidos Sedimentáveis	≤ 1,0 mL/L em teste de 1 (uma) hora em Cone Imhoff
Substâncias tenso-ativas que reagem ao azul de metileno	2,0 mg MBAS/L
Sulfeto	0,2 mg/L
Temperatura	40°C
Vanádio total	1,0 mg/L
Zinco total	2,0 mg/L

Fonte: BRASIL, 2017.

3.5. Verificação e comparação entre legislação e normativas

Para a verificação das legislações e normativas existentes realizou-se uma busca por normatizações e padronizações sobre a utilização de água de reuso em nível nacional (nível federal e estadual) para fins de reuso urbano, industrial, agrícola e florestal. Utilizou-se também a base de dados do Google para encontrar reportagens e documentos sobre o assunto.

Foi identificado, à nível federal, o Programa Interáguas, o qual traz orientações para fins de reuso. À nível estadual foi identificada a Resolução CONSEMA 419/2020, a qual estabelece limitações para fins de reuso. A partir disso foram identificadas as diferenças existentes entre o Programa e a Resolução.

3.6. Verificação de atendimento de parâmetros para fins de reuso

Para a verificação de atendimento de parâmetros para fins de reuso urbano, industrial, agrícola e florestal, foi efetuado um comparativo entre os resultados de análises da ETE Mato Grande – do período de janeiro à junho de 2021 - com os parâmetros orientativos e limitações definidas, respectivamente, no Programa Interáguas e na Resolução CONSEMA 419/2020.

3.7. Recomendação de monitoramento de parâmetros

A partir do comparativo entre as normativas e os resultados analíticos da ETE foi possível a verificação de que alguns parâmetros, que não são solicitados na licença de operação, e, por isso não estão inclusos no monitoramento da ETE. Dessa forma, foram propostos parâmetros adicionais para monitoramento e verificação de atendimento, de forma a possibilitar o reuso para fins urbanos, agrícolas e florestais. Não foi possível recomendar parâmetros para fins de reuso industrial, pois conforme estabelecido na Resolução, os parâmetros ficam à cargo das especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina

3.8. Apresentação de possíveis tratamentos adicionais

Com base no comparativo entre os parâmetros analisados na ETE e a Resolução – a qual normatiza o reuso da água no estado do Rio Grande do Sul -, foi possível a identificação de parâmetros que não atendem as limitações da Resolução. Ainda, como nem todos os parâmetros necessários de atendimento com base na Resolução são monitorados, evidencia-se possíveis tratamentos adicionais considerando parâmetros não atendidos e a possibilidade de os parâmetros que ainda não são monitorados estarem acima das limitações.

3.9. Análise financeira de implantação de sistema adicional de tratamento

3.9.1. “Payback” Descontado

Com o intuito de avaliar o tempo de retorno de investimento (“Payback”) relacionado à implantação de uma etapa de filtração terciária e desinfecção na ETE Mato Grande, de forma a remover, respectivamente, ovos de helmintos e coliformes termotolerantes, estimou-se os custos relativos à implantação desses sistemas e o retorno financeiro proveniente da venda da água de reuso.

Para a análise financeira, foram considerados receita e investimentos, sendo calculado o “Payback Descontado” da proposta, considerando-se a realização de pós-tratamento por filtração terciária e desinfecção de 30% da capacidade de tratamento atual, ou seja, 78 L/s. Com relação ao Payback Descontado, informa-se que o mesmo é uma ferramenta de análise de investimento, o qual verifica o tempo necessário para recuperar o investimento inicial feito, trazendo a valor presente os fluxos de caixa (receita) (BRUNI & FAMÁ, 2003 Apud PACÍFICO, 2016). Ainda, ressalta-se que o mesmo serve para subsidiar a tomada de decisão acerca da implantação do projeto proposto e não considera custos operacionais.

3.9.2. Investimentos e receita

Para o cálculo do “*Payback*” Descontado é necessário estimar os custos de implantação do sistema e a receita proveniente da venda da água de reuso. Portanto, é necessário estimar os custos para implantação da etapa de desinfecção e de filtração em leito granular.

Para realização das estimativas de custo de desinfecção por adição de hipoclorito de sódio, utilizou-se valores disponíveis no Edital de Tomada de Preços nº 2019.02.18.1-TP do município de Boa Viagem/CE. Os valores, referentes ao ano de 2018 – que somam R\$ 39.818,75 - foram corrigidos pelo Índice Nacional de Construção Civil (INCC), resultando em R\$ 51.355,62, para atendimento de uma vazão de 15 L/s. Como na avaliação será considerado o tratamento de 30% da capacidade de tratamento da ETE, ou seja, 78 L/s, o custo estimado da implantação de uma etapa de desinfecção por adição de hipoclorito de sódio é de R\$ 267.049,22.

Para o sistema de filtração em leito granular, utilizou-se estimativa mostrada por Von Sperling (2005), pois não foi encontrado Edital com orçamento que contemplasse essa estrutura de pós-tratamento de esgotos. De acordo com o autor, o custo de implantação de sistema de lodo ativado com filtração terciária é R\$ 130 – 190 por habitante. Já para implantação de sistema de lodo ativado, esse mesmo autor relata valor de R\$ 100-160 por habitante. Sendo assim, a diferença seria R\$ 30 por habitante, que, corrigido pelo INCC, é de R\$ 85,60 por habitante. Propõe-se a utilização deste valor como referência para realização de uma estimativa. Para fins de cálculo, avaliando que a vazão total da ETE atende à cerca de 130.000 habitantes e, considerando que apenas 30% da vazão total será tratada para fins de reuso, considera-se para os cálculos o atendimento de 39.000 habitantes. Portanto, o custo estimado da implantação de uma etapa de filtração em leito granular é de R\$ 3.338.400,00.

Para a simulação do valor obtido com a venda da água de reuso (receita), utilizou-se como referência o valor praticado pela Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (SANASA), do município de Campinas, de R\$ 2,25 por m³ de esgoto tratado (SANASA, 2021), como também foi simulado outros cenários para diferentes tarifas. Ressalta-se que a proposta simulada prevê que o próprio cliente realize a coleta com caminhão na ETE, conforme praticado pela SANASA.

Para a investigação do cenário de tempo de retorno do investimento, utilizando-se da ferramenta de análise “*Payback*” Descontado, foram consideradas diferentes tarifas para a venda da água de reuso – 2,50, 2,25, 2,00 e 1,80 - e diferentes porcentagens da venda da mesma – 100%, 75%, 50% e 25%. Ainda, ressalta-se que para fins de cálculo do “*Payback*”, foi utilizada uma taxa mínima de atratividade de 12% ao ano. As tabelas, com os cálculos para as diferentes considerações feitas, constam no Anexo I deste trabalho.

3.9.3. Comparativo entre possíveis custos de compra de água de reuso e custos da água potável

Para a verificação da diferença entre custos da compra da água de reuso em detrimento da água potável, utilizou-se os valores da tabela evidenciada na Figura 8, que consta no site da CORSAN e evidencia as tarifas de água potável conforme categorias das economias abastecidas. Para a realização do comparativo - do preço da compra de água potável com o da água de reuso -, utilizou-se a tarifa empresarial de R\$ 7,19, pois é a que abrange a categoria comercial e pública, as quais são as possíveis interessadas na compra da água de reuso.

TARIFA	CATEGORIA	ÁGUA		
		PREÇO BASE	SERVIÇO BÁSICO	TARIFA MÍNIMA SEM HD.
SOCIAL	BICA PÚBLICA	3,04	12,04	42,44
	RESID. A e A1	2,56	12,04	37,64
	m ³ excedente	6,32		
BÁSICA	RESIDENCIAL B	6,32	30,01	93,21
EMPRESARIAL	COMERCIAL C1	6,32	30,01	93,21
	m ³ excedente	7,19		
	COMERCIAL	7,19	53,53	197,33
	PÚBLICA	7,19	106,92	250,72
	INDUSTRIAL	8,17	106,92	378,34

Figura 8 – Tarifas de água potável aplicadas pela CORSAN no município de Canoas.

Fonte: CORSAN, 2021.

Para fins de cálculo do custo da compra de água potável, utilizou-se a equação – que consta no site da CORSAN (2021), descrita abaixo:

$$Custo = PB.C^n + SB$$

Onde:

PB – Preço base (R\$)

C – Consumo (m³)

n – Valor tabelado relativo ao consumo

SB – Serviço básico (R\$)

Ainda, foi considerado para fins comparativos um consumo de 51 m³ e na Tabela 9 constam os valores utilizados no cálculo do custo da compra de água potável.

Tabela 9: Valores utilizados para o cálculo do custo da compra de 51 m³ de água potável.

Água Potável				
Tarifa	Categoria	Preço base	Serviço básico	n
Empresarial	Comercial	7,19	53,53	1,09
	Pública	7,19	106,92	1,09

Fonte: adaptado de CORSAN, 2021.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Comparativo entre Resolução CONSEMA nº 419/2020 e padrões orientativos para água de reuso do Programa Interáguas

Com relação às diferenças entre a Resolução CONSEMA nº 419/2020 e as diretrizes orientativas estabelecidas pelo Programa Interáguas, evidencia-se a Tabela 10, a qual trata sobre às diferenças existentes com relação aos parâmetros de análise, para fins urbanos entre a Resolução e o Programa.

Tabela 10: Comparativo entre a Resolução CONSEMA nº 419/2020 e o Programa Interáguas para fins de reuso urbano

Parâmetros	Unidade	Fins Urbanos			
		CONSEMA nº 419/2020		Programa Interáguas	
		Classe A	Classe B	Reúso Urbano Irrestrito	Reúso Urbano Restrito
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	< 200	< 10 ³ ⁽¹⁾	< 10	< 10 ³ ⁽⁵⁾
Ovos de helmintos	ovo/L	< 1	Não se aplica	< 1	< 1 ⁽⁵⁾
Cloro Residual Total	mg/L	< 1 ⁽²⁾		1 ⁽³⁾⁽⁴⁾	1 ⁽³⁾⁽⁴⁾
Condutividade elétrica	dS/m	< 3 ⁽²⁾		-	-
pH	-	-	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
DBO	mg/L	-	-	< 15	< 30
Turbidez	UNT	-	-	< 5	< 5

¹Quando o destino da água de reuso for para fins de desobstrução de redes de esgoto pluvial ou cloacal é dispensado seu atendimento

²Aplica-se quando o destino é o reuso para fins de irrigação paisagística

³Ou desinfecção alternativa.

⁴Cloro residual no final do tratamento para manutenção do sistema de distribuição. Não aplicável se a desinfecção for dispensada conforme nota 3.

⁵Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

Fonte: autora, 2021.

Com relação a Tabela 10, percebe-se que:

- i) Para reusos urbanos irrestritos (acesso irrestrito): as orientações do Programa Interáguas para o parâmetro coliformes termotolerantes são mais restritivas, bem como, o Programa define parâmetros para DBO, pH e turbidez, os quais

não são definidos na Resolução. Ainda, o CONSEMA define condutividade elétrica, o que nas orientações do Programa não está previsto.

- ii) Para reusos urbanos restritos (acesso restrito): a diferença existente é com relação ao parâmetro ovos de helmintos, o qual no CONSEMA não se aplica e no Programa a orientação é de que seja <1 ovo de helminto/L. Ainda, na Resolução não há definição de limites para pH, DBO e turbidez, e no Programa há.

A Tabela 11 retrata as diferenças existentes entre os parâmetros para fins de reusos agrícolas.

Tabela 11: Comparativo entre a Resolução CONSEMA n° 419/2020 e o Programa Interáguas para fins de reusos agrícolas.

Parâmetros	Unidade	Fins Agrícolas		
		CONSEMA n° 419/2020	Programa Interáguas	
		Reuso agrícola e florestal ⁽¹⁾	Reúso agrícola restrito	Reúso agrícola irrestrito
pH	-	Entre 6 e 9	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Alumínio	mg/L	5	-	-
Arsênio	mg/L	0,1	-	-
Bário	mg/L	5	-	-
Boro	mg/L	0,5	-	-
Cádmio	mg/L	0,01	-	-
Chumbo	mg/L	0,5	-	-
Cianeto	mg/L	0,2	-	-
Cloreto	mg/L	106,5	-	-
Cobalto	mg/L	0,5	-	-
Cobre	mg/L	0,2	-	-
Cromo total	mg/L	0,5	-	-
Cromo hexavalente	mg/L	0,1	-	-
Ferro	mg/L	5	-	-
Fluoreto	mg/L	10	-	-
Manganês	mg/L	0,2	-	-
Mercurio	mg/L	0,01	-	-
Molibdênio	mg/L	0,5	-	-
Níquel	mg/L	0,2	-	-
Selênio	mg/L	0,02	-	-
Sulfeto	mg/L	1	-	-
Vanádio	mg/L	0,1	-	-
Zinco	mg/L	2	-	-
Óleos e Graxas: mineral	mg/L	10	-	-
Óleos e graxas: vegetal ou animal	mg/L	30	-	-
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	mg/L	0,1	-	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 ⁴	< 10 ³ ⁽⁴⁾	< 10
Ovos de helmintos	Ovo/L	1	< 1 ⁽⁴⁾	< 1
DBO	mg/L	-	<30	<15
Turbidez	UNT	-	-	≤ 5
Cl ₂ residual	mg/L	-	1 ⁽²⁾⁽³⁾	1 ⁽²⁾⁽³⁾
Condutividade elétrica	-	<2,9	-	-

¹A água de reuso destinada à irrigação paisagística deverá também atender aos critérios aqui estabelecidos

²Ou desinfecção alternativa.

³Cloro residual no final do tratamento para demonstrar a eficiência da desinfecção e manutenção do sistema de distribuição.

Não aplicável se a desinfecção for dispensada conforme nota 2.

⁴Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

Fonte: autora, 2021

A partir da Tabela 11, percebe-se que com relação aos padrões para reutilização agrícola, deve-se primeiramente ressaltar a diferença entre os usos que a Resolução permite e os usos que o Programa orienta. De acordo com orientações do Programa, a utilização da água de reuso para irrigação de cultura de alimentos que se desenvolvem rentes ao nível

do solo é permitida. Já a Resolução veta a “produção de frutos, hortaliças, raízes e tubérculos onde o produto fique em contato direto com o solo ou com a água de reúso para consumo humano na forma crua” (BRASIL, 2020).

Em relação aos parâmetros, para Coliformes Termotolerantes, a Resolução é menos restritiva que as orientações do Programa, e nela não são definidos critérios para os parâmetros DBO, turbidez e cloro residual. Por outro lado, a Resolução define critérios para uma série de parâmetros, e no caso do Programa, são apresentados apenas exemplos de parâmetros de interesse para o usuário e para a proteção do meio ambiente.

A Tabela 12 traz o comparativo para fins de reúso industrial.

Tabela 12: Comparativo entre a Resolução CONSEMA nº 419/2020 e o Programa Interáguas para fins de reúso industrial

Parâmetros	Unidade	Fins Industriais	
		CONSEMA nº 419/2020	Programa Interáguas
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	-	< 10 ³ (1)(2)

¹Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores e drifting forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

²Para torres de resfriamento com recirculação – 90m de distância de áreas acessíveis ao público. A distância pode ser reduzida caso nível de desinfecção alto for implementado.

Fonte: autora, 2021.

Com relação a Tabela 12, evidencia-se que o reúso industrial, conforme Resolução, fica atrelado às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial de destino da água de reúso, não sendo definidas, portanto, limitações ou orientações à nível estadual. O Programa define limitações apenas para o parâmetro de coliformes termotolerantes.

Por fim, com relação à frequência de monitoramento dos parâmetros, informa-se que a Resolução as define conforme a vazão da água de reúso, sendo a mesma para todos os parâmetros. Já o Programa orienta a frequência conforme cada parâmetro e modalidade de reúso.

4.2. Análise do efluente da ETE Mato Grande

A seguir estão evidenciados gráficos gerados através dos laudos analíticos constantes no ROA nº 11/2021 - AM da ETE Mato Grande, referentes ao período de janeiro à junho de 2021. Ainda, conforme consta no ROA nº 50/2020 – DECE/SUTRA, elaborado pela CORSAN em atendimento à LO, são realizadas análises de *E. coli* em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes. Os gráficos - Figuras 8, 9, 10 e 11 – evidenciam, respectivamente: vazão afluente à ETE; DBO₅ (afluente e efluente); pH (afluente e efluente); eficiência de remoção de *E. coli*; e revelam o atendimento à Licença de Operação - com exceção para a eficiência de remoção de *E. coli* no mês de abril, que ficou abaixo de 95%. Ainda, destaca-se a Figura 9, que apresenta as vazões afluentes à ETE, a qual demonstra o incremento na vazão de esgoto recebida para tratamento no período indicado.

Ademais, é necessário destacar que, conforme ROA nº 11/2021 – AM, a vazão média de esgoto tratado no período de janeiro à junho de 2021 foi de 20.230,4 m³/dia, e conforme dados disponibilizados no site da Ambiental Metrosul, cerca de 40 m³ de água de reuso são utilizadas por dia para a realização de limpeza e desobstrução de redes de esgoto (Ambiental Metrosul, 2021), número esse que representa apenas 0,18% do total tratado.

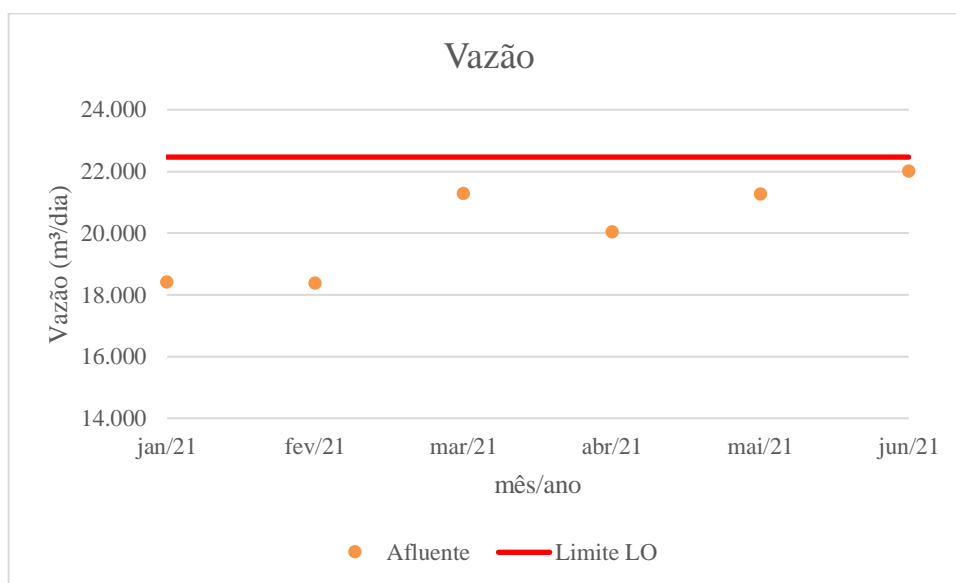


Figura 9 - Vazão afluente à ETE no período de janeiro à junho de 2021.

Fonte: Adaptado do ROA nº 11/2021 - AM da ETE Mato Grande.

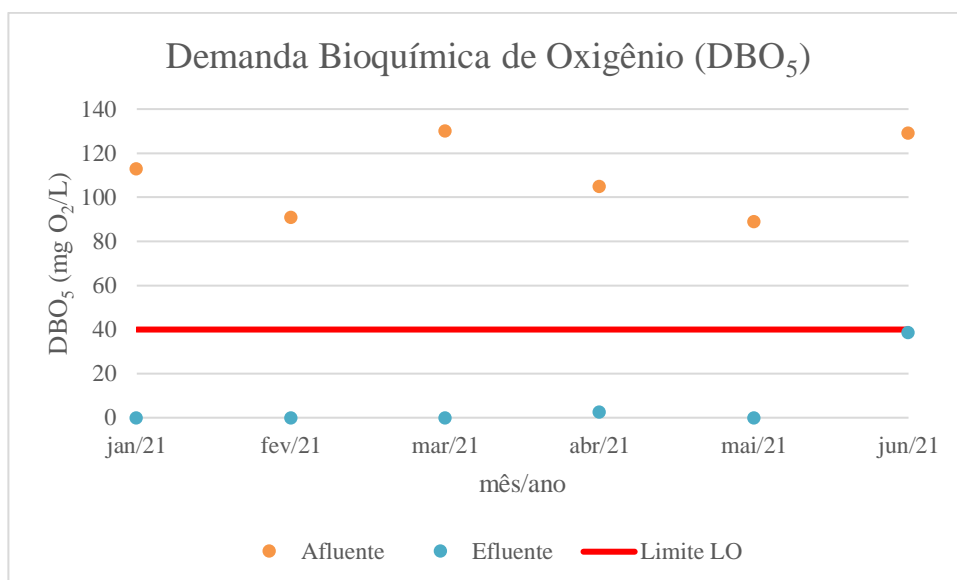


Figura 10 - DBO no período de janeiro à junho de 2021.

Fonte: Adaptado do ROA nº 11/2021 - AM da ETE Mato Grande.

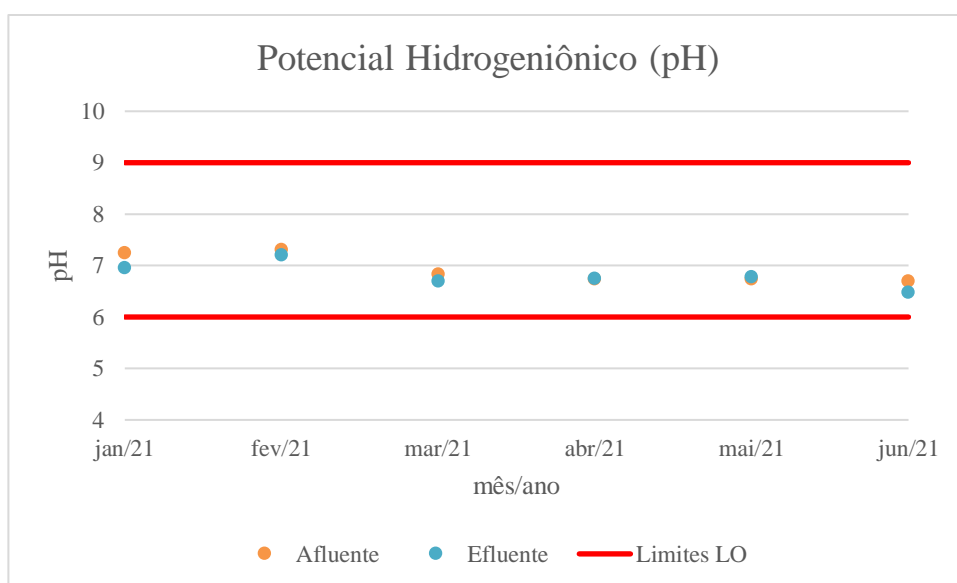


Figura 11 - pH medido no período de janeiro à junho de 2021.

Fonte: Adaptado do ROA nº 11/2021 - AM da ETE Mato Grande.

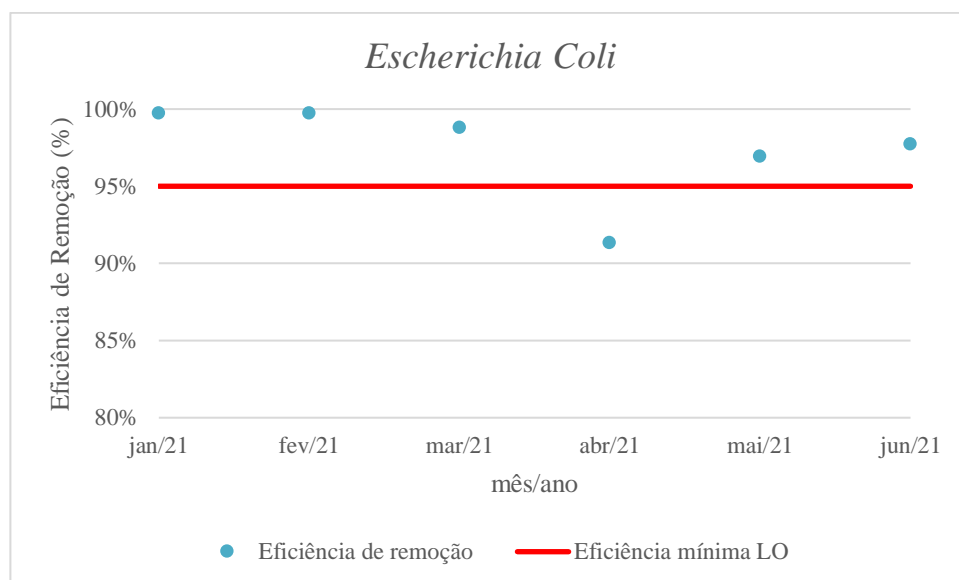


Figura 12 - Eficiência de remoção de *E. coli* no período de janeiro à junho de 2021.

Fonte: Adaptado do ROA nº 11/2021 - AM da ETE Mato Grande.

4.3. Comparativo entre análises de qualidade do efluente, CONSEMA 419/2020 e padrões orientativos do Programa Interáguas

Foi realizada comparação das análises de qualidade do efluente da ETE Mato Grande com os padrões estabelecidos na Resolução CONSEMA nº 419/2020 e os limites orientativos do Programa Interáguas para as três diferentes modalidades de reuso – agrícola e florestal, urbana e industrial -, sendo o comparativo evidenciado nas Tabela 14, 15 e 16. O período de resultados analíticos escolhido da ETE Mato Grande para a realização desse comparativo foi de janeiro à junho de 2021, por serem os resultados mais recentes disponibilizados a respeito da ETE ao órgão licenciador, através do ROA nº 11/2021 - AM. Ainda, ao final deste capítulo encontra-se a Tabela 17, a qual traz um resumo dos fins específicos de reuso, parâmetros não atendidos e parâmetros não monitorados com base na Resolução e no Programa.

Primeiramente, destaca-se que na Resolução CONSEMA nº 419/2020, define-se apenas o parâmetro coliformes termotolerantes para verificação do nível de desinfecção da água residuária tratada para fins de reusos urbanos; industriais e agrícolas; e florestais. Diante disso, para fins de comparação com as análises realizadas na ETE Mato Grande - que para verificação da desinfecção do efluente utiliza-se do parâmetro *E. coli* em substituição a coliformes termotolerantes -, e baseando-se em um Relatório Técnico

elaborado pela CETESB de 2008, o qual versa sobre o monitoramento desses parâmetros e ao final estabelece correlação entre eles, adotou-se para determinação de coliformes termotolerantes a partir da *E. coli* a proporção de 1:0,6. Portanto, na Tabela 13 evidencia-se a transformação do parâmetro de *E. coli* - das análises realizadas na ETE Mato Grande - em coliformes termotolerantes a partir da proporção acima referida.

Tabela 13: Transformação do parâmetro *E. coli* em coliformes termotolerantes para fins comparativos das análises da ETE com a Resolução CONSEMA 419/2020.

Parâmetro	Unidade	jan/21	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21	Média
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1,86.10 ⁴	2,10.10 ⁴	9,21.10 ⁴	4,35.10 ⁵	1,48.10 ⁵	7,90.10 ⁴	1,32.10 ⁵
Coliformes Termotolerantes ⁽¹⁾	NMP/100 mL	3,10.10 ⁴	3,50.10 ⁴	1,53.10 ⁵	7,25.10 ⁵	2,47.10 ⁵	1,32.10 ⁵	2,21.10 ⁵

¹Determinado a partir do parâmetro *Escherichia Coli* a partir de proporção (1:0,6) sugerida em Relatório Técnico da CETESB (2008)

Fonte: autora, 2021.

Na Tabela 14, seguem resultados do comparativo realizado entre os valores padrões (Resolução CONSEMA), orientativos (Programa Interáguas) e os resultados das análises da ETE para a modalidade de reuso para fins urbanos. Ademais, nela também é apresentado o parâmetro de *E. coli* transformado em coliformes termotolerantes.

Tabela 14: Comparativo entre limites CONSEMA nº 419/2020, valores orientativos do Programa Interáguas e análises do efluente da ETE Mato Grande para fins de reuso urbano.

Parâmetros	Unidade	Fins Urbanos				Análises efluente da ETE Mato Grande						
		CONSEMA 419/2020		Programa Interáguas		Jan/21	Fev/21	Mar/21	Abr/21	Mai/21	Jun/21	Média
		Classe A	Classe B	Reúso Urbano Restrito	Reúso Urbano Irrestrito							
Coliformes Termotolerantes ⁽⁶⁾	NMP/100 mL	< 200	< 10 ³ ⁽¹⁾	< 10	< 10 ³ ⁽⁵⁾	3,10.10 ⁴	3,50.10 ⁴	1,53.10 ⁵	7,25.10 ⁵	2,47.10 ⁵	1,32.10 ⁵	2,21.10 ⁵
Ovos de helmintos	ovo/L	< 1	-	< 1	< 1 ⁽⁵⁾	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-
Cloro Residual Total	mg/L	< 1 ⁽²⁾	-	1 ⁽³⁾⁽⁴⁾	1 ⁽³⁾⁽⁴⁾	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-
Condutividade elétrica	dS/m	<3 ⁽²⁾	-	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-
pH	-	-	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	7,0	7,2	6,7	6,8	6,8	6,5	7
DBO	mg/L	-	-	< 15	< 30	<0,7	<0,7	<2	2,6	<2	38,7	21
Turbidez	UNT	-	-	< 5	< 5	NA	NA	NA	NA	2,85	2,1	2

NA = Não Analisado;

¹Quando o destino da água de reuso for para fins de desobstrução de redes de esgoto pluvial ou cloacal é dispensado seu atendimento

²Aplica-se quando o destino é o reuso para fins de irrigação paisagística

³Ou desinfecção alternativa.

⁴Cloro residual no final do tratamento para manutenção do sistema de distribuição. Não aplicável se a desinfecção for dispensada conforme nota 3.

⁵Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

⁶Os resultados das análises da ETE evidenciados foram determinados a partir do parâmetro *E. coli* a partir de proporção (1:0,6) sugerida em Relatório Técnico da CETESB (2008)

Fonte: autora, 2021.

O comparativo dos limites estabelecidos pelo CONSEMA e os resultados das análises da ETE demonstram que para o reuso de Classe A (irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros públicos e lavagem de veículos) nenhum dos parâmetros estabelecidos para esse fim, com o tratamento realizado atualmente, é atendido.

Com relação ao reuso de Classe B (irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ao abatimento de poeira, aos usos na construção civil, em estações de tratamento de efluente e à desobstrução de redes de esgoto pluvial e/ou cloacal) é possível apenas a utilização direta para os usos nas desobstruções de redes de esgotos. Destaca-se que, para esse fim, são desconsideradas exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto.

Ressalta-se que para a irrigação paisagística em locais de acesso limitado e também à de acesso ilimitado, o parâmetro coliformes termotolerantes não é atendido, bem como, na ETE não são realizadas análises de cloro residual, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, cloreto e ovos de helmintos – sendo os dois últimos parâmetros solicitados e definidos na CONSEMA no reuso agrícola e florestal. Para fins de irrigação é necessário o atendimento desses parâmetros e torna-se também necessário seu monitoramento. Ainda, informa-se que no mês de janeiro (conforme está evidenciado na Tabela 15) o cloreto foi analisado e atendido, entretanto, não fora novamente monitorado e por isso aparece especificado como necessário de monitoramento. Com relação aos usos para abatimento de poeira e na construção civil, informa-se que não fora atendido o parâmetro de coliformes termotolerantes.

O confronto das análises da ETE com os limites orientativos do Programa Interáguas aponta que, para o reuso urbano restrito (irrigação paisagística e outros usos urbanos - em áreas restritas, sem contato público frequente e/ou com restrição de acesso), o parâmetro de coliformes termotolerantes não é atendido em nenhum dos meses; já a DBO teve seu limite ultrapassado apenas no mês de junho/21. Com relação ao comparativo com o reuso urbano irrestrito (irrigação paisagística e outros usos urbanos – em áreas públicas), constata-se que não é atendido o parâmetro de coliformes termotolerantes. O parâmetro DBO - como é mais limitado que no reuso urbano restrito - novamente não é atendido.

Ainda, cabe evidenciar que na ETE não são realizadas análises para verificação do parâmetro “ovos de helmintos” e, com base nas orientações do Programa, se forem adotadas ações especiais de proteção dos trabalhadores responsáveis pela aplicação da

água, não sendo realizado reuso interno não potável, para o reuso urbano restrito apenas o parâmetro DBO – referente ao mês de junho – permaneceria não sendo atendido.

A Tabela 15 traz o comparativo entre os padrões do CONSEMA e orientações do Programa com as análises realizadas na ETE para fins de reusos agrícolas. Ainda, informa-se que conforme frequência estabelecida em licença, as análises que constam dentro do ROA N° 11/2021, para a maior parte dos parâmetros requeridos para esse fim, são referentes apenas aos resultados de janeiro, março e junho de 2021.

Tabela 15: Comparativo entre limites CONSEMA nº 419/2020, valores orientativos do Programa Interáguas e análises do efluente da ETE Mato Grande para fins de reuso agrícola.

Parâmetros	Unidade	Fins Agrícolas			Análises efluente da ETE Mato Grande					
		CONSEMA nº 419/2020	Programa Interáguas		jan/21	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21
		Reúso agrícola e florestal ⁽¹⁾	Reúso agrícola restrito	Reúso agrícola irrestrito						
pH	-	Entre 6 e 9	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	7,0	7,2	6,7	6,8	6,8	6,5
Alumínio	mg/L	5	-	-	NA	NA	0,40	NA	NA	ND
Arsênio	mg/L	0,1	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Bário	mg/L	5	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Boro	mg/L	0,5	-	-	NA	NA	0,10	NA	NA	<0,1
Cádmio	mg/L	0,01	-	-	ND	NA	ND	NA	NA	ND
Chumbo	mg/L	0,5	-	-	ND	NA	0,20	NA	NA	ND
Cianeto	mg/L	0,2	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	<0,005
Cloreto	mg/L	106,5	-	-	63	NA	NA	NA	NA	NA
Cobalto	mg/L	0,5	-	-	NA	NA	0,10	NA	NA	ND
Cobre	mg/L	0,2	-	-	0,01	NA	0,40	NA	NA	ND
Cromo total	mg/L	0,5	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Cromo hexavalente	mg/L	0,1	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Ferro	mg/L	5	-	-	0,81	NA	2,40	NA	NA	0,40
Fluoreto	mg/L	10	-	-	NA	NA	0,40	NA	NA	0,30
Manganês	mg/L	0,2	-	-	0,086	NA	ND	NA	NA	0,10
Mercúrio	mg/L	0,01	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Molibdênio	mg/L	0,5	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Níquel	mg/L	0,2	-	-	<0,0061	NA	ND	NA	NA	ND
Selênio	mg/L	0,02	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Sulfeto	mg/L	1	-	-	NA	NA	0,01	NA	NA	0,01
Vanádio	mg/L	0,1	-	-	NA	NA	ND	NA	NA	ND
Zinco	mg/L	2	-	-	0,05	NA	0,20	NA	NA	ND
Óleos e Graxas: mineral	mg/L	10	-	-	NA	<10	<10	<10	<10	<10
Óleos e graxas: vegetal ou animal	mg/L	30	-	-	NA	NA	<10	NA	NA	<10
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	mg/L	0,1	-	-	NA	NA	0,00	NA	NA	0,01
Coliformes Termotolerantes ⁽⁵⁾	NMP/100 mL	10 ⁴	< 10 ³ ⁽⁴⁾	< 10	3,10.10 ⁴	3,50.10 ⁴	1,53.10 ⁵	7,25.10 ⁵	2,47.10 ⁵	1,32.10 ⁵
Ovos de helmintos	Ovo/L	1	< 1 ⁽⁴⁾	< 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA

DBO	mg/L	-	<30	<15	<0,7	<0,7	<2	2,6	<2	38,7
Turbidez	UNT	-	-	≤ 5	NA	NA	NA	NA	2,85	2,1
Cl ₂ residual	mg/L	-	1 ⁽²⁾⁽³⁾	1 ⁽²⁾⁽³⁾	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Condutividade elétrica	-	<2,9	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA = Não Analisado; ND = Não Detectado;

¹A água de reuso destinada à irrigação paisagística deverá também atender aos critérios aqui estabelecidos

²Ou desinfecção alternativa.

³Cloro residual no final do tratamento para demonstrar a eficiência da desinfecção e manutenção do sistema de distribuição. Não aplicável se a desinfecção for dispensada conforme nota 2.

⁴Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores forem implementadas e não forem aplicáveis reuso interno não potável.

⁵Os resultados das análises da ETE evidenciados foram determinados a partir do parâmetro *E. coli* a partir de proporção (1:0,6) sugerida em Relatório Técnico da CETESB (2008)

Fonte: autora, 2021.

A partir do comparativo entre os parâmetros estabelecidos no CONSEMA e as análises do efluente da ETE para fins de reusos agrícolas e florestais (aplicação de água de reúso para produção agrícola, cultivo de florestas plantadas e recuperação de áreas degradadas), evidencia-se que não foram atendidos os limites dos parâmetros de coliformes termotolerantes - para nenhum dos meses - e o do cobre - que foi ultrapassado no mês de março. Ainda, é necessário ressaltar que não foram realizadas análises para os parâmetros: cloretos (com exceção para o mês de janeiro, no qual foi realizado e atendido), ovos de helmintos, condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio.

No comparativo das análises da ETE com os padrões orientativos do Programa Interáguas, para fins de reuso agrícola restrito - irrigação de alimentos destinados ao consumo humano sem processamento prévio (plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo); alimentos que necessitam de processamento antes de serem consumidos e culturas não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas – e irrestrito (irrigação de cultura de alimentos destinados ao consumo humano sem processamento prévio - plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo), verificou-se que não são atendidos os parâmetros de coliformes termotolerantes para nenhum dos meses e a DBO não é atendida no mês de junho para ambos os fins. Ademais, não são realizadas análises para ovos de helmintos. Com base nas orientações do programa, se forem adotadas ações especiais de proteção dos trabalhadores responsáveis pela aplicação da água, não sendo realizado reuso interno não potável, para o reuso agrícola restrito apenas o parâmetro DBO – referente ao mês de junho – permaneceria não sendo atendido.

A Tabela 16 traz o comparativo entre os padrões orientativos existentes no Programa Interáguas, para fins de reuso industrial, com as análises realizadas na ETE. No CONSEMA nº 419/2020 não existem definições para esse fim de reuso, ficando essa incumbência, conforme a referida Resolução, à cargo das especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina. Ademais, o Programa traz apenas orientação para o parâmetro de Coliformes Termotolerantes, e comparando-o com as análises da ETE, verifica-se que em nenhum dos meses atende-se a orientação do Programa.

Tabela 16: Comparativo entre CONSEMA n° 419/2020, valores orientativos do Programa Interáguas e análises do efluente da ETE Mato Grande para fins de reúso industrial.

Parâmetros	Unidade	Fins Industriais		Análises efluente da ETE Mato Grande						
		CONSEMA n° 419/2020	Programa Interáguas	jan/21	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21	Média
			Reúso industrial							
Coliformes Termotolerantes ⁽³⁾	NMP/100 mL	-	< 10 ³ ^{(1) (2)}	3,10.10 ⁴	3,50.10 ⁴	1,53.10 ⁵	7,25.10 ⁵	2,47.10 ⁵	1,32.10 ⁵	2,21.10 ⁵

¹Exigências de desinfecção e critério de coliformes e ovos de helminto podem ser dispensados caso ações especiais de proteção dos trabalhadores e drifting forem implementadas e não forem aplicáveis reúso interno não potável.

²Para torres de resfriamento com recirculação – 90m de distância de áreas acessíveis ao público. A distância pode ser reduzida caso nível de desinfecção alto for implementado.

³Determinado a partir do parâmetro *Escherichia Coli* a partir de proporção (1:0,6) sugerida em Relatório Técnico da CETESB (2008)

Fonte: autora, 2021.

Por fim, evidencia-se abaixo a Tabela 17, a qual apresenta um resumo da relação de usos previstos pelo CONSEMA e parâmetros não atendidos e não monitorados na ETE Mato Grande. Ainda, traz-se aqui também a mesma relação para o Programa Interágua, devido às diferentes aplicações por ele propostas.

Tabela 17: Resumo de usos previstos, parâmetros não atendidos e parâmetros não monitorados com base na Resolução CONSEMA 419/2020 e Programa Interágua

Fins Urbanos		Parâmetros não atendidos	Parâmetros não monitorados
CONSEMA 419/2020	Classe A	irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito	Coliformes termotolerantes Cloro residual, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, cloreto ⁽⁴⁾ e ovos de helmintos
		lavagem de logradouros públicos e lavagem de veículos	Coliformes termotolerantes Ovos de helmintos
	Classe B	irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito	Coliformes termotolerantes Cloro residual, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, cloreto ⁽⁴⁾ e ovos de helmintos
		abatimento de poeira, usos na construção civil e em estações de tratamento de efluente	Coliformes termotolerantes -
		desobstrução de redes de esgoto pluvial e/ou cloacal	- -
	Programa Interágua	Urbano Irrestrito	Irrigação paisagística de parques, escolas, residências, campos de futebol, campos de golfe; usos internos como bacias sanitárias em grandes edifícios, lavagem de logradouros e outros espaços públicos.
Urbano Restrito		Irrigação paisagística em rodoviárias, cemitérios, centro comerciais; usos internos; desobstrução de rede de esgoto, construção civil, lavagem de veículos; sistemas de combate a incêndio.	Coliformes termotolerantes e DBO ⁽¹⁾ Ovos de helmintos, cloro residual e turbidez ⁽²⁾

Fins Agrícolas			Parâmetros não atendidos	Parâmetros não monitorados
CONSEMA 419/2020	Fins Agrícolas e Florestais	aplicação de água de reúso para produção agrícola, cultivo de florestas plantadas e recuperação de áreas degradadas	Coliformes termotolerantes, Cobre ⁽³⁾	Cloreto ⁽⁴⁾ , ovos de helmintos, condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio
Programa Interáguas	Reúso Agrícola Irrestrito	Irrigação de hortaliças e tubérculos (alface, morango, cenouras, entre outros), culturas hidropônicas.	Coliformes termotolerantes e DBO ⁽¹⁾	Ovos de helmintos, turbidez ⁽²⁾ e cloro residual
	Reúso Agrícola Restrito	Irrigação de milho, batatas, arroz, culturas forrageiras, entre outros; irrigação de videira, árvores frutíferas.	Coliformes termotolerantes e DBO ⁽¹⁾	Ovos de helmintos e cloro residual
Fins Industriais			Parâmetros não atendidos	Parâmetros não monitorados
CONSEMA 419/2020	Fins Industriais	O reuso industrial fica atrelado às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial de destino da água de reúso, não sendo definidas, portanto, limitações para o fim.		
Programa Interáguas	Fins Industriais	Torres de resfriamento, caldeiras, processo de fabricação, construção civil	Coliformes termotolerantes	-

¹A DBO ficou acima dos limites de 15 e 30 mg/L no mês de junho.

²A turbidez foi monitorada apenas nos meses de maio e junho, estando dentro dos limites nesses dois meses.

³O cobre ficou acima do limite de 0,2 mg/L no mês de maio; em janeiro e junho, meses em que também houve análise desse parâmetro, apresentou-se dentro das limitações.

⁴O cloreto teve seu monitoramento realizado somente no mês de janeiro, estando dentro da limitação para esse mês

Fonte: autora, 2021.

4.4. Recomendação de monitoramento de mais parâmetros

De forma a avaliar qual ou quais os tratamentos adicionais necessários para implantação na ETE Mato Grande, para possibilitar o reúso para fins urbanos, agrícolas e florestais, torna-se primeiramente necessário, o monitoramento de alguns parâmetros que ainda não são verificados na ETE, de forma que, caso sejam realizadas adequações para fins de implementação de tratamentos adicionais, essas sejam feitas já com base nas análises de monitoramento de todos os parâmetros necessários para atendimento do reúso requerido.

Ainda, conforme já evidenciado anteriormente sobre o reuso industrial, tanto a Resolução quanto as orientações do Programa Interáguas não definem parâmetros para possibilitar o reuso a este fim, deixando isso à cargo das especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina.

Na Tabela 18 estão descritos os parâmetros que precisam ser monitorados para possibilitar a verificação dos tratamentos adicionais necessários, bem como, quais parâmetros não foram atendidos para os diferentes fins de reuso.

Tabela 18: Parâmetros sugeridos para monitoramento e quais não atenderam a Resolução e o Programa para os fins de reuso urbano, agrícolas e florestais

Parâmetros	Fins Urbanos				Fins Agrícolas e Florestais		
	CONSEMA 419/2020		Programa Interáguas		CONSEMA 419/2020	Programa Interáguas	
	Classe A	Classe B	Reúso Urbano Restrito	Reúso Urbano Irrestrito		Reúso agrícola restrito	Reúso agrícola irrestrito
Coliformes Termotolerantes	não atende		não atende		não atende	não atende	
Ovos de Helmintos	monitorar	-	monitorar		monitorar	monitorar	
Cloro Residual Total	monitorar		monitorar		-	monitorar	
Condutividade Elétrica	monitorar		-		monitorar	-	
Razão de Adsorção de Sódio	monitorar ³		-		monitorar	-	
DBO	-		não atende ⁽¹⁾		-	não atende ⁽¹⁾	
Turbidez	-		-	monitorar	-	-	monitorar
Cloreto	-		-		monitorar ⁽²⁾	-	

¹Parâmetro não atendido no mês de junho

²Parâmetro foi monitorado, no período analisado, somente no mês de janeiro. Nele, atendeu o limite estabelecido.

³Deve ser monitorado para fins de irrigação paisagística

Fonte: autora, 2021.

A partir da Tabela 18, percebe-se que o único parâmetro que não é solicitado monitoramento para nenhum dos fins de reuso pela CONSEMA e o é pelo Programa é a

turbidez. Ademais, com relação a esse parâmetro e ao cloreto, informa-se que foram realizadas análises em alguns meses na ETE em questão (turbidez em maio e junho; e cloreto em janeiro), estando eles dentro dos limites do Programa e Resolução, de <5 NTU e 106,5 mg/L, respectivamente.

De acordo com a Tabela 18, de forma a verificar o atendimento de todos os parâmetros e por fim decidir quais os tratamentos adicionais necessários - considerando, nesse caso, os fins de reuso urbano, agrícola e florestal -, torna-se necessário incluir os seguintes parâmetros no monitoramento já realizado: 1. ovos de helmintos, cloro residual e turbidez (se for de interesse o atendimento das orientações do Programa); e 2. ovos de helmintos, cloro residual, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio e cloreto (para atendimento da Resolução CONSEMA 419/2020). Ainda, evidencia-se na Tabela 19 a frequência de monitoramento dos parâmetros que precisam ser incluídos para atendimento de monitoramento do Programa Interáguas.

Tabela 19: Frequência de monitoramento de parâmetros sugeridos de análise para atendimento do Programa Interáguas

Parâmetros	Programa Interáguas			
	Fins Urbanos		Fins Agrícolas e Florestais	
	Reúso Urbano Restrito	Reúso Urbano Irrestrito	Reúso agrícola restrito	Reúso agrícola irrestrito
Coliformes Termotolerantes	mensal ⁽¹⁾	semanal	mensal ⁽¹⁾	semanal
Ovos de Helmintos	mensal		anual	mensal
Cloro Residual Total	contínuo		contínuo	
Turbidez	-	contínuo	-	contínuo

¹Informa-se que na ETE já é realizado o monitoramento mensal de *E. coli*

Fonte: autora, 2021.

Com relação a frequência de monitoramento dos parâmetros para atendimento da Resolução CONSEMA, informa-se que há variação de monitoramento conforme altera-se a vazão da água de reuso. No caso de a vazão ser inferior a 150 m³/dia, o monitoramento deve ser semestral, quando maior que 150 e menor que 300 m³/dia deve ser trimestral, e para maiores que 300 m³/dia deve ser bimensal. Ainda, a partir do monitoramento desses

parâmetros será possível definir quais os tratamentos adicionais necessários para atendimento dos padrões de reuso. De toda forma, evidencia-se no item a seguir, possíveis tratamentos adicionais de forma a possibilitar o reuso do efluente tratado para os diferentes fins.

4.5. Apresentação de possíveis tratamentos adicionais

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), utiliza-se do processo de desinfecção para inativação de organismos patogênicos – bactérias, protozoários, helmintos e vírus -, de forma que sejam minimizados riscos relacionados às doenças associadas a esses patógenos. Geralmente, obtém-se a desinfecção com o uso de agentes químicos e radiação não ionizante, mas também pode-se utilizar: radiação ionizante e remoção mecânica de micro-organismos. Com relação aos agentes químicos, os mais utilizados são o cloro, seus derivados e o ozônio; já com relação a radiação não ionizante, informa-se que a mais utilizada é a radiação ultravioleta (UV). A radiação ionizante, embora tenha sido intensamente estudada no mundo, não possui exemplos de instalações de grande escala em operação; já a remoção mecânica de micro-organismos, de forma a promover a desinfecção, ocorre como efeito secundário da operação de separação física realizada, como por exemplo o peneiramento, sedimentação e filtração.

Para a realização do processo de desinfecção utiliza-se, geralmente, de reatores dimensionados para maximizar o contato entre o efluente a ser desinfectado e o agente de desinfecção. Ainda, os tipos de reatores dependem do agente de desinfecção utilizado. A desinfecção com cloro, por exemplo, utiliza câmaras com chicanas ou tubulações; o ozônio na forma de gás é geralmente aplicado por meio de difusores de gás, provocando borbulhamento no efluente em uma câmara de contato; a desinfecção com radiação UV pode ser feita em canais abertos ou fechados, diferenciando-se entre si pela pressão das lâmpadas e a intensidade da radiação utilizada.

Para a definição dos possíveis tratamentos adicionais, de forma a possibilitar a utilização do efluente tratado da ETE Mato Grande para diferentes fins, baseando-se na Resolução CONSEMA 419/2020, é importante verificar que, atualmente, não é atendido apenas o parâmetro de coliformes termotolerantes. Entretanto, há também os parâmetros que não são monitorados e é solicitado seu monitoramento pela CONSEMA - são eles:

ovos de helmintos, cloro residual, condutividade elétrica e cloreto. Esses parâmetros, caso for de interesse o reuso para outros fins que não sejam somente limpeza e desobstrução de rede de esgoto, deverão ser monitorados e atendidos. Em caso de não atendimento das limitações de algum parâmetro, pode-se estabelecer tratamentos adicionais com o intuito de atender a Resolução e implementar o reuso da água para diferentes fins.

Abaixo são descritos tratamentos adicionais que podem ser adotados para a desinfecção do efluente da ETE Mato Grande, de forma a atender o parâmetro de coliformes termotolerantes:

1. Cloro (livre e combinado)

É um desinfetante eficaz e amplamente utilizado, podendo ser monitorado e mantido no efluente. Ainda, auxilia no controle de odor e possui um custo de implantação relativamente baixo. Por outro lado, necessita de um longo tempo de contato com o efluente quando comparado com outros desinfetantes. Ainda, na sua utilização há o potencial de formação de trihalometanos e outros subprodutos (muitos dos quais com potencial carcinogênico e/ou mutagênico), bem como, de liberação de compostos orgânicos voláteis na câmara de contato. Além disso, sua utilização aumenta a concentração de SDT e cloreto, e pode reduzir o pH do efluente. Os principais compostos a base de cloro utilizados para a desinfecção são o cloro (Cl_2) na forma de gás ou líquido (quando pressurizado); o hipoclorito de sódio (NaOCl), na forma de solução aquosa; e o dióxido de cloro (ClO_2), que é um gás instável em condições atmosféricas, sendo produzido no local de aplicação a partir da mistura e reação de uma solução de cloro em água com uma solução de sódio. Em pequenas estações de tratamento também utiliza-se o hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)_2), disponível na forma sólida ou em solução, devido à facilidade de manipulação e dosagem. (METCALF & EDDY, 2016).

2. Ozônio

É um desinfetante eficaz, necessita de um menor tempo de contato quando comparado com o cloro, bem como, para sua instalação requer um menor espaço. Ainda, sua utilização não forma subprodutos clorados como os trihalometanos, entretanto, pode formar outros subprodutos – aldeídos, ácidos, entre outros. Não tem ação residual e sua utilização libera gases que devem ser tratados. Ademais, a preocupação com a segurança é maior e o custo para implantação e operação é relativamente alto. (METCALF & EDDY, 2016).

3. UV

É um desinfetante eficaz, não forma subprodutos de desinfecção e não aumenta a concentração de SDT. É um método mais seguro quando comparado com desinfetantes químicos e para sua instalação requer um menor espaço em comparação com o cloro. Por outro lado, não permite medida direta do sucesso da desinfecção e não tem ação residual. Além disso, o custo para implantação e operação é relativamente alto. (METCALF & EDDY, 2016).

Com relação à adição de cloro para a realização de desinfecção do efluente e a geração de trihalometanos e outros subprodutos da desinfecção, informa-se que a formação desses subprodutos depende de diversos fatores, como por exemplo: presença de precursores orgânicos, concentração de cloro livre, concentração de bromo, pH, temperatura e tempo. Uma forma de controlar essa reação é evitar a adição direta de cloro nos efluentes (METCALF & ED, 2016).

Ademais, cabe aqui ressaltar que, por mais que os tratamentos aqui evidenciados sejam eficientes para a remoção de coliformes termotolerantes, os ovos de helmintos são extremamente resistentes a agentes químicos - a cloro e ozônio, por exemplo (LIEBMANN, 1964 Apud GOBBI, 2010). Ainda, de acordo com Hespanhol et al. (2002), sistemas convencionais de tratamentos de esgoto, como os de lodos ativados e processos de desinfecção, não conseguem remover ovos de helmintos à níveis necessários – menores que 1 ovo/L. Portanto, para o reuso do efluente da ETE Mato Grande para fins que não sejam somente limpeza e desobstrução da rede de esgoto, e em conformidade com a

Resolução, torna-se necessário também tratamento adicional para adequação desse parâmetro.

Com relação a esse tratamento adicional, informa-se que Gobbi (2010) desenvolveu uma pesquisa sobre a remoção de ovos de helmintos de esgoto tratado pelo processo de lodos ativados, de forma a possibilitar o reuso na irrigação agrícola e para fins urbanos não potáveis. O estudo avaliou a filtração em leitos granulares com três diferentes configurações - areia e carvão; zeólito; e uma só com areia -, para a remoção desses organismos patogênicos. Como resultado obteve, além de uma eficiente remoção dos ovos de helmintos para as três configurações – com concentração final inferior a 1 ovo/L -, a remoção de sólidos suspensos totais, turbidez, cor e material orgânico particulado, resultando em um efluente com grande potencial para ser reusado. Ainda, a alta eficiência de remoção pode ser entendida por meio da eficiência de remoção de sólidos pela filtração.

4.6. Estimativa de custo de implantação de tratamento adicional, receita a partir da venda da água de reuso e tempo de retorno de investimento

Para o cenário de implantação de sistema de pós-tratamento que consiste em um sistema de desinfecção - pela adição de hipoclorito - e filtro granular, o valor estimado de investimento é de R\$ 3.605.449,22. Considerando o tratamento adicional para uma vazão de 78 L/s e diferentes porcentagens de venda de água de reuso e tarifas de venda da água, evidencia-se na Tabela 20 os diferentes tempos de retorno de investimento, também conhecidos como “*Paybacks*”

Tabela 20: Tempos de retornos de investimento a partir da aplicação de diferentes tarifas de água de reuso e diferentes considerações de porcentagens de venda.

Tarifa água de reuso (R\$/m³)	% de água de reuso vendida	Payback (anos)	Payback (meses)
2,50	100%	0,7	7,9
	75%	0,9	10,5
	50%	1,4	16,2
	25%	2,9	35,0
2,25	100%	0,7	8,8

	75%	1,0	11,7
	50%	1,5	18,2
	25%	3,3	39,9
	100%	0,8	9,8
2,00	75%	1,1	13,1
	50%	1,7	20,6
	25%	3,8	46,0
	100%	0,9	10,9
1,80	75%	1,2	14,9
	50%	1,9	23,1
	25%	4,4	52,6

Fonte: autora, 2021.

A partir da Tabela 20, considerando-se um dos cenários mais desvantajosos para a aplicação do projeto, no qual aplica-se etapa de desinfecção e filtração granular em 30% da capacidade da ETE, vendendo 100% da água de reuso tratada à R\$ 1,80, ainda assim o tempo de retorno de investimento é menor que um ano. O cenário mais vantajoso da venda de água de reuso avaliado é o que estabelece tratamento adicional em 30% da capacidade da ETE, considerando a venda de 100% da água de reuso tratada à R\$ 2,50, tendo como resultado um tempo de retorno de investimento de cerca de 8 meses.

De forma a evidenciar a diferença de custo e a oportunidade de utilização da água de reuso tratada de forma segura para os fins cabíveis ao invés da água potável - tratada e distribuída pela CORSAN - apresenta-se a Tabela 21. Ainda, ressalta-se que novamente não estão inclusos os custos de transporte no valor da compra da água de reuso e aqui considera-se que o próprio cliente realiza a coleta com caminhão na ETE, como praticado pela SANASA.

Tabela 21: Comparativo entre o custo da compra de 51 m³ de água de reuso e do mesmo volume de água potável.

Comparativo entre custos para um consumo de 51 m³ ⁽¹⁾

Custo da compra de água potável

Tarifa água de reuso (R\$/m³)	Custo da compra de água de reuso	Categoria Comercial	Categoria Pública
2,50	127,50	677,39	730,78
2,25	114,75	677,39	730,78
2,00	102,00	677,39	730,78
1,80	91,80	677,39	730,78

¹Não levou-se em consideração custos de transporte que ficarão a cargo do comprador da água de reuso

Fonte: autora, 2021.

A partir da Tabela 21, percebe-se que mesmo adotando-se uma tarifa de R\$ 2,50 - superior à que hoje é aplicada pela SANASA – a menor diferença entre a compra de água potável, que é a comparação com a categoria comercial, ainda é elevada, sendo ela no valor de R\$ 549,89. Na utilização da tarifa de R\$ 2,25, a menor diferença é no valor de R\$ 562,64. Na utilização da tarifa mais baixa avaliada, de R\$ 1,80, a diferença pode chegar até ao valor de R\$ 638,98, quando considera-se os custos de compra na categoria pública.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No Brasil o tema reuso da água ainda é incipiente e poucos são os dados divulgados sobre as aplicações de reuso, mesmo em empresas e companhias em que essa ação já é institucionalizada. Com relação à normativas existentes, a situação é a mesma. A nível federal apenas existem parâmetros orientativos que constam no Programa Interáguas – um programa cujo financiamento é realizado pelo Governo. À nível estadual o cenário é um pouco diferente, pois já existem algumas Resoluções que abordam o assunto, sendo uma delas a CONSEMA 419/2020, a qual estabelece parâmetros a serem atendidos para fins de reusos urbanos, industriais, agrícolas e florestais no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, cabe ressaltar que na Resolução, a qualidade da água de reuso para fins industriais não é definida, e a mesma estabelece que a qualidade deverá obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina o reuso.

Com relação à qualidade da água residuária tratada na ETE Mato Grande, conclui-se que o único uso em que há o completo atendimento dos parâmetros estabelecidos pela CONSEMA, com o tratamento realizado atualmente, já vem sendo implementado na estação – que é o reuso urbano para limpeza e desobstrução de redes de esgoto. Caso haja interesse na utilização da água residuária tratada para os outros fins, torna-se indispensável a todos os fins de reusos a adequação do parâmetro de coliformes termotolerantes. Ainda, com o atendimento desse parâmetro, já se torna possível o reuso da água para fins de abatimento de poeira, usos na construção civil e em estações de tratamento de efluente.

Para as outras finalidades de reuso, é necessário o monitoramento de alguns parâmetros que atualmente não estão sendo monitorados na ETE. Para verificação da possibilidade de utilização dessa água de reuso na lavagem de logradouros públicos e de veículos é necessário iniciar o monitoramento do parâmetro de ovos de helmintos. Com relação a utilização da água de reuso para fins de irrigação paisagística, tanto em locais de acesso restrito quanto irrestrito, é necessário iniciar o monitoramento para verificação de atendimento, dos parâmetros: cloro residual, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, cloreto e ovos de helmintos. Para verificar a possibilidade de utilização da água de reuso para produção agrícola, cultivo de florestas plantadas e recuperação de áreas degradadas, torna-se imprescindível o monitoramento dos mesmos parâmetros que os dos fins de irrigação paisagística, com exceção para o parâmetro de cloro residual, que para o caso em questão não é necessário monitoramento. Ainda, verificou-se o atendimento aos parâmetros já monitorados na estação e requeridos na Resolução, e o único não atendido – além dos coliformes termotolerantes – foi o cobre no mês de maio, o qual é necessário atendimento tanto para fins agrícolas e florestais, quanto para os fins de irrigação paisagística. Ainda sobre o cobre, é importante ressaltar que nos meses de janeiro e junho esse parâmetro foi monitorado e atendido.

Levando em consideração: 1. que a Resolução CONSEMA 419/2020 é a normativa vigente no Rio Grande do Sul que estabelece critérios e procedimentos para a água de reuso; 2. que seu atendimento possibilita a empregabilidade do reuso; e 3. que ela requer monitoramento de cloro residual para o reuso de fins urbanos; sugere-se que a etapa de desinfecção – para a remoção de patógenos - seja realizada com compostos a base de cloro – de forma a possibilitar o monitoramento de cloro residual no efluente e adequar o parâmetro de coliformes termotolerantes para os reusos pretendidos. Caso for identificado que sua utilização pode ocasionar a formação de subprodutos prejudiciais à saúde e meio ambiente deve ser preferido outro processo de desinfecção, e ao final, de maneira segura, é necessário dosar cloro de forma a possibilitar o monitoramento do residual no efluente. Ainda, sugere-se o monitoramento dos parâmetros de ovos de helmintos, condutividade elétrica e cloreto, e, em caso de o parâmetro ovos de helmintos – o qual é o mais provável de estar fora das limitações - ficar acima do limite estabelecido na Resolução, é sugerido o estudo da implantação de uma etapa de filtração em leito granular para a remoção desses organismos patogênicos que são resistentes a agentes químicos.

Foi também realizada estimativa de custos para a instalação de uma etapa adicional de filtração - com filtro granular - e desinfecção - com hipoclorito de sódio – para remoção de patógenos, de forma a adequar parâmetros microbiológicos para fins urbanos, agrícolas e florestais. O custo estimado para a implantação do tratamento adicional foi de R\$ 3.605.449,22. A partir da simulação de diferentes tarifas de venda do m³ da água de reuso e diferentes porcentagens de venda do volume tratado pela etapa adicional, foi possível verificar os tempos de retorno de investimento. Conforme a análise do tempo de retorno, percebe-se que mesmo nos cenários mais desvantajosos – em que se considera uma tarifa de R\$ 1,80 e R\$ 2,00 para a venda da água – na venda de 100% do que foi tratado é possível ter um tempo de retorno de investimento inferior a 1 ano. Analisando o cenário da venda do m³ da água por uma tarifa de R\$ 2,25 – como é o praticado pela SANASA em São Paulo – na venda de 75% do que foi tratado tem-se um tempo de retorno de investimento também inferior a 1 ano. Ainda, realizou-se comparação entre o custo de compra de 51 m³ de água potável e 51 m³ de água de reuso, com o intuito de demonstrar os menores custos na compra da água de reuso. Foi verificado que mesmo na adoção de uma tarifa superior à tarifa praticada pela SANASA a diferença entre os custos foi elevada, sendo a menor diferença no valor de R\$ 549,89. Na adoção de uma baixa tarifa, de R\$ 1,80, a diferença entre os custos pode chegar a até R\$ 638,98.

Por fim, recomenda-se a realização de orçamento com empresa capacitada para confirmação dos custos de implantação do sistema adicional de tratamento. Ainda, ressalta-se que o tratamento evidenciado é para fins de adequação microbiológica da água de reuso e no caso de existirem outros parâmetros necessários de adequação deve ser avaliado outro tipo de tratamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBIENTAL METROSUL. Relatório Operacional e Analítico N° 11/2021 - AM. Canoas: AMBIENTAL METROSUL, 2021. 151 p.
- ANA (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019. 74 p.
- AQUAPOLO. A Gestão do AQUAPOLO ressalta o papel da valorização dos efluentes diante dos desafios da mudança climática. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/noticias/a-gestao-do-aquapolo-ressalta-o-papel-da-valorizacao-dos-efluentes-diante-dos-desafios-da-mudanca-climatica/>. Acesso em: 4 set. 2021.
- AQUAPOLO. Água de reuso viabiliza o desenvolvimento sustentável, gera empregos e economiza recursos naturais. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/noticias/agua-de-reuso-viabiliza-o-desenvolvimento-sustentavel-gera-empregos-e-economiza-recursos-naturais/>. Acesso em: 2 set. 2021.
- AQUAPOLO. Águas Industriais - Processo de Produção. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/processo-producao/>. Acesso em: 3 set. 2021.
- AQUAPOLO. Investimentos em reúso da água tratada do esgoto podem gerar R\$ 5,9bilhões à economia. Disponível em: <http://www.aquapolo.com.br/noticias/investimentos-em-reuso-da-agua-tratada-do-egoto-podem-gerar-r-59bilhoes-a-economia/>. Acesso em: 2 set. 2021.
- DA SILVA AVELAR, Pablo et al. PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 02–PLANEJAMENTO TÉCNICO E ESTRATÉGICO. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, p. 18-35, 2021.
- BRASIL. LEI N° 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989. D.O.U de 09/01/1997, Brasília, 8 de janeiro de 1997.
- BRASIL. Resolução CNRH n° 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. D.O.U. de 16/12/2010, Brasília, 16 de dezembro de 2010.
- BRASIL. Resolução CNRH n° 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005.
- BRASIL. Resolução CONSEMA n° 355, de 13 de julho de 2017. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado de 19/07/2017, Porto Alegre, 13 de julho de 2017.
- BRASIL. RESOLUÇÃO CONSEMA n° 419, de 13 de fevereiro de 2020. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais,

agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. D.O.E de 21/02/2020, Porto Alegre, 13 de fevereiro de 2020.

CETESB (Brasil). Coliformes totais, coliformes termotolerantes e Escherichia coli - Determinação pela técnica de tubos múltiplos. São Paulo: Cetesb, 2018. 29 p.

CETESB (Brasil). Monitoramento de Escherichia coli e coliformes termotolerantes em pontos da rede de avaliação da qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2008. 21 p.

CETESB (Brasil). Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: Apêndice E – Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Recurso eletrônico. São Paulo: Cetesb, 2016.

CETESB (Brasil). Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo: Significado Ambiental dos Parâmetros. São Paulo: CETESB, 2004. 264 p.

CETESB. Águas Interiores - Reuso de água. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 9 set. 2021.

CORREIA, A. et al. Análise da Turbidez da Água em Diferentes Estados de Tratamento: Determinação da Turbidez em águas, método Nifelométrico. VIII ERMAC: 8 o Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, RN, , dez./2005. Disponível em: https://dimap.ufrn.br/~sbmac/ermac2008/Anais/Resumos%20Estendidos/Analise%20da%20turbidez_Aislan%20Correia.pdf. Acesso em: 28 set. 2021.

CORSAN. Relatório Operacional e Analítico N° 050/2020-DECE/SUTRA. Porto Alegre: CORSAN, 2020. 59 p.

DA CUNHA, Luís Veiga. Perspectivas da gestão da água para o século XXI: desafios e oportunidades. **RBRH–Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 65-73, 2002.

DE OLIVEIRA, Dariane Priscila Franco; DE ANDRADE, Tamiris Cristina Oliveira; BROETTO, Fernando. **ÁGUA RESIDUÁRIA: USOS E LEGISLAÇÃO. ESTUDOS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS**, p. 11, 2019.

Esgotos. 2ª Edição. Belo Horizonte: SEGRAC, 1998.

FAO. Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security. Rome: FAO, 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3015e/i3015e.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

GOBBI, Sidinei Antonio. **Remoção de ovos de helmintos de esgotos secundários, por meio de filtros rápidos de areia, carvão antracitoso e zeólito para reúso agrícola e urbano não potável**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GOVERNO DO BRASIL. Tratamento de helmintíases. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos-estaduais/tratamento-de-helmintias-es-1>. Acesso em: 5 out. 2021.

HESPANHOL, Ivanildo et al. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, Ivanildo. Reúso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes. *Revista USP*, n. 106, p. 79-94, 2015.

HESPANHOL, Ivanildo. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos avançados**, v. 22, p. 131-158, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados - Canoas**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/canoas.html>>. Acesso em: 12 out. 2021.

JIMENEZ, Blanca; ASANO, Takashi. Water reclamation and reuse around the world. **Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs**, v. 14, p. 3-26, 2008.

DE MENDONÇA LIMA, Maíra Araújo et al. PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 04–FUTURO E DESAFIOS. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 55-70, 2021.

LIMA, Maíra et al. Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply**, v. 21, n. 6, p. 2799-2810, 2021.

MENDONÇA, Luciana Coêlho; MENDONÇA, Sérgio Rolim. Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura. Editora Blucher, 2018.

MENDONÇA, Fernando Campos; PIVELI, Roque Passos. Uso agrícola de esgoto tratado em lagoas de estabilização: experiências do Prosab em Lins–SP. *Exacta*, v. 2, p. 37-54, 2004.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos: Processos de desinfecção. 5. ed., 2016.

OLIVEIRA, Antonio. Prefeitura anuncia pacote com 12 medidas para enfrentar a escassez hídrica. Prefeitura Municipal de Campinas, Campinas, 30/05/2014. Disponível em: <<https://novo.campinas.sp.gov.br/noticia/23411>>. Acesso em 11 de outubro de 2021.

PACÍFICO, ORNELLA. ANÁLISE FINANCEIRA DE PROJETOS. Rio de Janeiro: 2016. 144 p.

PIVELI, Roque Passos; DE CAMARGO CARMELLO, Quirino Augusto. II-192-USO DE EFLUENTES DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE FLORES EM SISTEMA DE HIDROPONIA EM VASOS.

PREFEITURA DE MOGI DAS CRUZES. Semae garante economia e respeito à natureza com utilização da água de reúso. Disponível em: <https://www.mogidascruzes.sp.gov.br/pagina/servico-municipal-de-aguas-e-esgotos/noticia/sem-ae-garante-economia-e-respeito-a-natureza-com-utilizacao-da-agua-de-reuso>. Acesso em: 13 set. 2021.

PROGRAMA INTERÁGUAS. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil: Quadro Regulatório Recomendado. São Paulo: Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, 2017. 124 p.

PROGRAMA INTERÁGUAS. Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil: Plano de Ações/Política de Reúso (RF). São Paulo: Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, 2018. 109 p.

PROLAGOS. Esgotamento Sanitário. Disponível em: <https://www.prolagos.com.br/esgotamento-sanitario/>. Acesso em: 7 set. 2021.

QADIR, Manzoor et al. Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. In: **Natural resources forum**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2020. p. 40-51.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 419, de 13 de fevereiro de 2020. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reúso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. D.O.E., Porto Alegre, 21 de fevereiro de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Diretriz Técnica FEPAM N°. 05, de 16 de setembro de 2017. Diretriz Técnica Referente ao Descarte e ao Reúso de Efluentes Líquidos no Âmbito do Estado do Rio Grande do Sul. D.O.E., Porto Alegre, 16 de setembro de 2019.

SAESA. Água de reúso - Conheça os dados e como fazemos. Disponível em: <http://www.daescs.sp.gov.br/pagina/agua-de-reuso>. Acesso em: 14 set. 2021.

SANASA. Água de Reúso – Modalidades de compra oferecidas pela SANASA. Campinas. Disponível em: <<https://www.sanasa.com.br/servico/aguaReuso.aspx?f=A>>. Acesso em 11 de outubro de 2021.

SANTOS, Ana Silvia Pereira et al. PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 01–TERMINOLOGIA E CONCEITOS DE BASE. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, p. 1-17, 2021.

SÃO PAULO (Estado). Resolução Conjunta SES/SIMA N° 01, de 13 de fevereiro de 2020. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. D.O.E., São Paulo, 14 de fevereiro de 2020.

SÃO PAULO (Estado). Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 01 de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. D.O.E., São Paulo, 29 de junho de 2017.

SÃO PAULO (ESTADO). Sabesp pesquisa utilização da água de reúso para irrigação no campo. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/sabesp-pesquisa-utilizacao-da-agua-de-reuso-para-irrigacao-no-campo/>. Acesso em: 15 set. 2021.

SATO, Toshio et al. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. **Agricultural Water Management**, v. 130, p. 1-13, 2013.

DA SILVA JUNIOR, Luis Carlos Soares et al. PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 03–METODOLOGIA DE POTENCIALIDADES (DEMANDAS E OFERTAS) E ANÁLISE ESPACIAL. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, p. 36-54, 2021.

SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto: Índices de Atendimento. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. 73 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagnostico-SNIS-AE-2019-Capitulo-06.pdf>. Acesso em: 18 set. 2021.

SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto: Índices de Atendimento. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019. 73 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagnostico-SNIS-AE-2019-Capitulo-06.pdf>. Acesso em: 18 set. 2021.

SOUSA, J. T. et al. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n. 1 p. 107-110, 2005.

STACKLIN, Christopher. The Value of Wastewater: An Econometric Evaluation of Recoverable Resources in Wastewater for Reuse. WEF Proceedings, New Orleans, La., New Orleans Morial Convention Center.

TOZE, Simon. Reuse of effluent water—benefits and risks. ***Agricultural water management***, v. 80, n. 1-3, p. 147-159, 2006.

United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO, Paris.

UNITED NATIONS. Resolução da Assembleia Geral da ONU nº A/RÉS/64/292, de 28 de julho de 2010. Reconhece o Direito Humano à Água Potável e ao Saneamento, de 03 de agosto de 2010. United Nations, 28 de julho de 2010.

US EPA. Guidelines for Water Reuse: Urban Reuse. Washington, DC, US EPA, 2012. G-2 p. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

VON SPERLING, Marcos. Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, v. 3, p. 452, 2005.

VON SPERLING, Marcos. Wastewater Characteristics, Treatment And Disposal: Overview of wastewater treatment systems. 1. ed. Índia: Aptara Inc., 2007.

WWAP (Programa de Avaliação Mundial da Água das Nações Unidas). 2017. O Relatório de Desenvolvimento Mundial da Água das Nações Unidas 2017: Wastewater, The Untapped Resource. Paris, UNESCO

WWAP (World Water Assesment Programme)/UM-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. Paris, UNESCO.

ANEXO I

Capacidade atual da ETE (L/s)	260
Taxa de juros	12% a.a.

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 100% vendido à R\$ 2,50 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
					-
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	3.605.449,22
1	2.459.808,00	6.149.520,00		5.490.642,86	1.885.193,64
2	2.459.808,00	6.149.520,00		4.902.359,69	6.787.553,33
3	2.459.808,00	6.149.520,00		4.377.106,87	11.164.660,20
4	2.459.808,00	6.149.520,00		3.908.131,13	15.072.791,33
				Payback descontado (anos)	0,7
				Payback descontado (meses)	7,9

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 100% vendido à R\$ 2,25 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
					-
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	3.605.449,22
1	2.459.808,00	5.534.568,00		4.941.578,57	1.336.129,35
2	2.459.808,00	5.534.568,00		4.412.123,72	5.748.253,08
3	2.459.808,00	5.534.568,00		3.939.396,18	9.687.649,26
4	2.459.808,00	5.534.568,00		3.517.318,02	13.204.967,28
				Payback descontado (anos)	0,7
				Payback descontado (meses)	8,8

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 100% vendido à R\$ 2,00 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
					-
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	3.605.449,22
1	2.459.808,00	4.919.616,00		4.392.514,29	787.065,07
2	2.459.808,00	4.919.616,00		3.921.887,76	4.708.952,82
3	2.459.808,00	4.919.616,00		3.501.685,50	8.210.638,32
4	2.459.808,00	4.919.616,00		3.126.504,91	11.337.143,23

Payback descontado (anos)	0,8
Payback descontado (meses)	9,8

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 100% vendido à R\$ 1,80 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
					-
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	3.605.449,22
1	2.459.808,00	4.427.654,40		3.953.262,86	347.813,64
2	2.459.808,00	4.427.654,40		3.529.698,98	3.877.512,62
3	2.459.808,00	4.427.654,40		3.151.516,95	7.029.029,56
4	2.459.808,00	4.427.654,40		2.813.854,42	9.842.883,98

Payback descontado (anos)	0,9
Payback descontado (meses)	10,9

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 75% vendido à R\$ 2,50 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	4.612.140,00		4.117.982,14	512.532,92
2	2.459.808,00	4.612.140,00		3.676.769,77	4.189.302,69
3	2.459.808,00	4.612.140,00		3.282.830,15	7.472.132,85
4	2.459.808,00	4.612.140,00		2.931.098,35	10.403.231,20

Payback descontado (anos)	0,9
Payback descontado (meses)	10,5

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 75% vendido à R\$ 2,25 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	4.150.926,00		3.706.183,93	100.734,71
2	2.459.808,00	4.150.926,00		3.309.092,79	3.409.827,50
3	2.459.808,00	4.150.926,00		2.954.547,14	6.364.374,64
4	2.459.808,00	4.150.926,00		2.637.988,52	9.002.363,15

Payback descontado (anos)	1,0
Payback descontado (meses)	11,7

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 75% vendido à R\$ 2,00 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	3.689.712,00		3.294.385,71	-311.063,51

2	2.459.808,00	3.689.712,00	2.941.415,82	2.630.352,31
3	2.459.808,00	3.689.712,00	2.626.264,12	5.256.616,43
4	2.459.808,00	3.689.712,00	2.344.878,68	7.601.495,11

Payback descontado (anos) 1,1
Payback descontado (meses) 13,1

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 75% vendido à R\$ 1,80 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	3.320.740,80		2.964.947,14	-640.502,08
2	2.459.808,00	3.320.740,80		2.647.274,23	2.006.772,16
3	2.459.808,00	3.320.740,80		2.363.637,71	4.370.409,87
4	2.459.808,00	3.320.740,80		2.110.390,81	6.480.800,68

Payback descontado (anos) 1,2
Payback descontado (meses) 14,9

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 50% vendido à R\$ 2,50 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	3.074.760,00		2.745.321,43	-860.127,79
2	2.459.808,00	3.074.760,00		2.451.179,85	1.591.052,06
3	2.459.808,00	3.074.760,00		2.188.553,43	3.779.605,49
4	2.459.808,00	3.074.760,00		1.954.065,57	5.733.671,06

Payback descontado (anos) 1,4
Payback descontado (meses) 16,2

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 50% vendido à R\$ 2,25 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	2.767.284,00		2.470.789,29	-1.134.659,93
2	2.459.808,00	2.767.284,00		2.206.061,86	1.071.401,93
3	2.459.808,00	2.767.284,00		1.969.698,09	3.041.100,02
4	2.459.808,00	2.767.284,00		1.758.659,01	4.799.759,03

Payback descontado (anos) 1,5
Payback descontado (meses) 18,2

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 50% vendido à R\$ 2,00 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	2.459.808,00		2.196.257,14	-1.409.192,08
2	2.459.808,00	2.459.808,00		1.960.943,88	551.751,80
3	2.459.808,00	2.459.808,00		1.750.842,75	2.302.594,55
4	2.459.808,00	2.459.808,00		1.563.252,45	3.865.847,00
Payback descontado (anos)					1,7
Payback descontado (meses)					20,6

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 50% vendido à R\$ 1,80 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	2.213.827,20		1.976.631,43	-1.628.817,79
2	2.459.808,00	2.213.827,20		1.764.849,49	136.031,70
3	2.459.808,00	2.213.827,20		1.575.758,47	1.711.790,17
4	2.459.808,00	2.213.827,20		1.406.927,21	3.118.717,38
Payback descontado (anos)					1,9
Payback descontado (meses)					23,1

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 25% vendido à R\$ 2,50 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	1.537.380,00		1.372.660,71	-2.232.788,51
2	2.459.808,00	1.537.380,00		1.225.589,92	-1.007.198,58
3	2.459.808,00	1.537.380,00		1.094.276,72	87.078,14
4	2.459.808,00	1.537.380,00		977.032,78	1.064.110,92
Payback descontado (anos)					2,9
Payback descontado (meses)					35,0

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 25% vendido à R\$ 2,25 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	1.383.642,00		1.235.394,64	-2.370.054,58
2	2.459.808,00	1.383.642,00		1.103.030,93	-1.267.023,65
3	2.459.808,00	1.383.642,00		984.849,05	-282.174,60
4	2.459.808,00	1.383.642,00		879.329,51	597.154,90

Payback descontado (anos) 3,3
Payback descontado (meses) 39,9

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 25% vendido à R\$ 2,00 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	1.229.904,00		1.098.128,57	-2.507.320,65
2	2.459.808,00	1.229.904,00		980.471,94	-1.526.848,71
3	2.459.808,00	1.229.904,00		875.421,37	-651.427,34
4	2.459.808,00	1.229.904,00		781.626,23	130.198,89

Payback descontado (anos) 3,8
Payback descontado (meses) 46,0

Considerando 30% do esgoto tratado, e do tratado, 25% vendido à R\$ 1,80 o m³ de água de reuso

Ano	Vazão (m3/ano)	Receita (R\$/ano)	Investimento	Fluxo Descontado	Saldo
0	2.459.808,00	0,00	3.605.449,22	-3.605.449,22	-3.605.449,22
1	2.459.808,00	1.106.913,60		988.315,71	-2.617.133,51
2	2.459.808,00	1.106.913,60		882.424,74	-1.734.708,76
3	2.459.808,00	1.106.913,60		787.879,24	-946.829,52
4	2.459.808,00	1.106.913,60		703.463,60	-243.365,92
5	2.459.808,00	1.106.913,60		628.092,50	384.726,58

Payback descontado (anos) 4,4
Payback descontado (meses) 52,6