



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Rodrigo Silva Maestri

**Potencialidades e desafios para o reúso de água regional: Estudo de caso da
Região Hidrográfica nº 10 de Santa Catarina**

Florianópolis

2025

Rodrigo Silva Maestri

**Potencialidades e desafios para o reúso de água regional: Estudo de caso da
Região Hidrográfica nº 10 de Santa Catarina**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
Coorientadora: Prof.^a Inara Antunes Vieira Willerding, Dra.

Florianópolis

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC. Dados inseridos pelo próprio autor.

Silva Maestri, Rodrigo

Potencialidades e desafios para o reúso de água regional: Estudo de caso da Região Hidrográfica nº 10 de Santa Catarina / Rodrigo Silva Maestri; orientador, Flávio Rubens Lapolli, coorientadora, Inara Antunes Vieira Willerding, 2025.

209 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Reúso de água. I. Rubens Lapolli, Flávio. II. Antunes Vieira Willerding, Inara. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Rodrigo Silva Maestri

**Potencialidades e desafios para o reúso de água regional: Estudo de caso da
Região Hidrográfica nº 10 de Santa Catarina**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 07 de agosto de 2025, pela banca examinadora composta dos seguintes membros:

Prof.^a Maria Eliza Nagel Hassemer, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. André Aguiar Battistelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Vitoria Augusta Braga de Souza, Dra.
Universidade Federal de Goiânia

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

Prof.^a Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.
Coordenadora do curso

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
Orientador

Prof.^a Inara Antunes Vieira Willerding, Dra.
Coorientadora

Florianópolis, 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pela compreensão e incentivo ao longo da jornada do Doutorado, aos professores Flávio e Inara pela parceria na condução e orientação da pesquisa, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, a Universidade Federal de Santa Catarina, a CASAN e demais instituições que aceitaram participar e contribuir com a pesquisa.

RESUMO

Eventos de escassez hídrica estão ocorrendo com maior frequência e intensidade ao redor do mundo, agravados pelas mudanças climáticas, pelo crescimento da densidade populacional e pelo aumento do consumo de água. Nesse contexto, o reúso de água advinda de estações de tratamento de efluentes sanitários representa uma prática importante, não só para minimizar as consequências da escassez hídrica, mas também para preservar os recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental. Em vários países, o reúso já vem sendo praticado de forma regulamentada, controlada e segura; todavia, em países em desenvolvimento, como o Brasil, pode-se considerar que essa ainda é uma prática pouco adotada. Nesse contexto, esta pesquisa tem por objetivo avaliar as potencialidades e os desafios para o reúso de água na Região Hidrográfica nº 10 de Santa Catarina (RH10/SC), que é a região hidrográfica do estado com maior vulnerabilidade hídrica. Para o desenvolvimento da pesquisa foi estabelecido um Plano de Execução Sistemático da Pesquisa (PESP) em sete etapas e que estabeleceu a metodologia da pesquisa. O potencial de produção de água de reúso foi verificado para um cenário atual a partir das informações obtidas das ETE em operação na região, e para um cenário tendencial futuro considerando que 90% da população urbana na região serão atendidas com coleta e tratamento de efluentes até 2033. Visando avaliar a percepção local sobre as perspectivas para o reúso de água na RH10/SC, foi realizada uma análise SWOT/PESTLE. Um questionário eletrônico semiestruturado foi aplicado a um conjunto de 18 instituições e especialistas identificados como partes interessadas na região e os resultados foram consolidados em uma matriz que destacou os aspectos considerados mais relevantes como pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças ao reúso de água na região. Como resultados da pesquisa, foi verificado o potencial de produção de água de reúso na RH10/SC de 267 L/s para o cenário atual e de 1.105 L/s para o cenário tendencial, com potencial para utilização nas modalidades urbano restrito, ambiental, aquíicultura e agrícola restrito. Essa vazão poderá suprir 7 % da demanda de consumo de água para a irrigação no cenário tendencial, evidenciando a contribuição importante do reúso para atenuar o cenário de vulnerabilidade hídrica da região. Resultado da análise SWOT/PESTLE, entre os fatores avaliados como pontos fortes foi verificado o potencial do reúso de contribuir para a conscientização ambiental da população e para a continuidade das atividades econômicas da região, e como ponto fraco mais significativo, destacou-se a ausência de um ambiente legal adequado devido à falta de regulamentação em nível estadual e federal. Os riscos à saúde dos trabalhadores, agricultores e usuários envolvidos com o reúso foram avaliados com pouca relevância com um ponto fraco pelas partes interessadas. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que o envolvimento das partes interessadas e o uso de conceitos, ferramentas e métodos apropriados são fundamentais para um melhor conhecimento das características regionais e são determinantes para a avaliação da potencialidade regional para o reúso de água.

Palavras-chave: escassez hídrica; planejamento regional; sustentabilidade; reúso de água.

ABSTRACT

Water scarcity events are occurring with greater frequency and intensity around the world, aggravated by climate change, growing population density and increased water consumption. In this context, the reuse of water from sanitary effluent treatment plants represents an important practice, not only to minimize the consequences of water scarcity, but also to preserve water resources and environmental sustainability. In several countries, reuse has already been practiced in a regulated, controlled and safe way; however, in developing countries, such as Brazil, it can be considered that this is still a little adopted practice. In this context, this research aims to evaluate the potential and challenges for water reuse in the Hydrographic Region no 10 of Santa Catarina (RH10/ SC), which is the hydrographic region of the state with greater water vulnerability. For the development of the research, a Systematic Implementation Plan (PESP) was established in seven stages and established the methodology of the research. The potential production of reuse water was verified for a current scenario from the information obtained from wastewater treatment plants operating in the region, and for a future trend scenario considering that 90% of the urban population in the region will be served with wastewater collection and treatment by 2033. In order to evaluate the local perception about the prospects for water reuse in RH10/SC, a SWOT/ PESTLE analysis was performed. A semi-structured electronic questionnaire was applied to a set of 18 institutions and experts identified as stakeholders in the region and the results were consolidated into a matrix that highlighted the aspects considered most relevant as strengths, Weaknesses, opportunities and threats to water reuse in the region. As results of the research, it was verified the potential for production of reuse water in RH10/SC of 267 L/ s for the current scenario and 1,105 L/ s for the trend scenario, with potential for use in urban restricted, environmental, aquaculture and agricultural restricted modalities. This flow may supply 7% of the water consumption demand for irrigation in the trend scenario, showing the important contribution of reuse to mitigate the water vulnerability scenario of the region. Result of the SWOT/ PESTLE analysis, among the factors evaluated as strengths was verified the reuse potential to contribute to environmental awareness of the population and the continuity of economic activities in the region, and as a most significant weak point, highlighted the absence of an adequate legal environment due to lack of regulation at state and federal level. The health risks of workers, farmers and users involved in reuse were evaluated with little relevance with a weak point by stakeholders. The results obtained in this work demonstrate that the involvement of stakeholders and the use of concepts, Appropriate tools and methods are fundamental for a better knowledge of the regional characteristics and are decisive for the evaluation of the regional potentiality for water reuse.

Keywords: water scarcity; regional planning; sustainability; reclaimed water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do reúso indireto (A) e do reúso direto (B).....	34
Figura 2 – Fluxograma representando as cinco etapas para a aplicação da ferramenta MATTI	40
Figura 3 – Percentual de reúso de água a partir de esgotos tratados no mundo	47
Figura 4 – Projetos de reúso no Brasil	50
Figura 5 – Cenário da regulamentação do reúso nos Estados dos Estados Unidos	56
Figura 6 – Fluxograma do detalhamento da metodologia PARBH	70
Figura 7 – Roteiro básico aplicado ao desenvolvimento de estudo de avaliação do potencial regional de reúso desde o planejamento até a implantação do empreendimento e/ou projeto-piloto.....	71
Figura 8 – Etapas adotadas no Projeto RECLAMO na Espanha	76
Figura 9 – Plano de Ação para a Reutilização da Água nos Estados Unidos ..	78
Figura 10 – Etapas do desenvolvimento do Plano de Ação Nacional de Reúso da Água nos Estados Unidos	79
Figura 11 – Representação da matriz SWOT	83
Figura 12 – Caracterização da pesquisa	99
Figura 13 – Plano de Execução Sistemático da Pesquisa (PESP)	100
Figura 14 – Localização da RH10/SC e das bacias hidrográficas que a compõem	105
Figura 15 – Informações socioeconômicas e hidrológicas da região selecionada.....	105
Figura 16 – Formas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas da RH10/SC.....	113
Figura 17 – Formas de esgotamento sanitário nas bacias hidrográficas da RH10/SC.....	114
Figura 18 – Contribuição percentual de cada tipo de uso na vazão total em cada região hidrográfica	119
Figura 19 – Faixas de classificação para o balanço hídrico	120
Figura 20 – Projeção de consumo de água por bacia hidrográfica da RH10/SC (L/s) para 2027.....	122

Figura 21 – Projeção do consumo de água por finalidade na RH10/SC (%) para 2027	122
Figura 22 – Projeção por finalidade de consumo de água na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá para 2027	123
Figura 23 – Projeção por finalidade de consumo de água na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga para 2027	123
Figura 24 – Projeção por finalidade de consumo de água na Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Rio Mampituba para 2027	124
Figura 25 – Etapas da avaliação da potencialidade da RH10/SC para o reúso não potável de água	127
Figura 26 – Potencial de produção de efluentes tratados e água de reúso (L/s) para o cenário atual na RH10/SC	131
Figura 27 – Potencial de produção de efluentes tratados e água de reúso (L/s) para o cenário tendencial na RH10/SC	132
Figura 28 – Percentual de utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário atual	136
Figura 29 – Utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário tendencial.....	137
Figura 30 – Etapas da análise SWOT/PESTLE na RH10/SC	142
Figura 31 – Número de aspectos considerados na matriz SWOT/PESTLE de referência	143
Figura 32 – Representação dos setores entre as partes interessadas	144
Figura 33 – Representação dos setores entre as partes interessadas que responderam ao questionário	146
Figura 34 – Média dos fatores avaliados na análise SWOT da RH10/SC	152
Figura 35 – Pontos fortes para o reúso de água na RH10/SC	154
Figura 36 – Pontos fracos para o reúso de água na RH10/SC	155
Figura 37 – Oportunidades para o reúso de água na RH10/SC	156
Figura 38 – Ameaças ao reúso de água na RH10/SC	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção, coleta, tratamento e reúso de águas por região e nível de desenvolvimento econômico.....	48
Tabela 2 – Projetos de reúso no Brasil	51
Tabela 3 – Requisitos de qualidade para a água de reúso para irrigação agrícola na União Europeia.....	54
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade de água relacionados ao reúso de água em Portugal	55
Tabela 5 – Características hidrográficas dos principais rios da RH10/SC.....	106
Tabela 6 – Eventos de seca e inundação nas bacias hidrográficas da RH10/SC	107
Tabela 7 – Abrangência municipal da RH10/SC e das bacias que a compõem	108
Tabela 8 – Resumo da população residente na RH10/SC relacionadas as bacias hidrográficas que a compõem.....	110
Tabela 9 – Resumo dos produtos agrícolas provenientes de lavouras temporárias, cultivados na RH10/SC e nas bacias que a compõem.....	111
Tabela 10 – Resumo dos produtos agrícolas provenientes de lavouras permanentes cultivados na RH10/SC e nas bacias que a compõem	111
Tabela 11 – Resumo da produção aquícola na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem	112
Tabela 12 – Resumo das formas de abastecimento de água na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem.....	113
Tabela 13 – Resumo das formas de esgotamento sanitário na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem.....	114
Tabela 14 – Disponibilidade hídrica superficial por RH	115
Tabela 15 – Vazões estimadas de poços representativos por RH.....	116
Tabela 16 – Valor médio dos parâmetros de qualidade das águas em Santa Catarina.....	117
Tabela 17 – Usos consultivos de água na RH10/SC	118
Tabela 18 – Balanço hídrico superficial por região hidrográfica em Santa Catarina	120
Tabela 19 – Projeção das vazões de retirada para 2027	121
Tabela 20 – Projeção das vazões de consumo	121
Tabela 21 – Balanço hídrico nas regiões hidrográficas no cenário tendencial	125

Tabela 22 – Alternativas prioritárias de compatibilização para a gestão da demanda e da disponibilidade na RH10/SC	126
Tabela 23 – Informações sobre as ETEs na RH10/SC	129
Tabela 24 – Produção de efluentes tratados nas bacias hidrográficas da RH10/SC	132
Tabela 25 – Modalidades e usos previstos na minuta da Resolução CNRH/2022.....	134
Tabela 26 – Utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário atual.....	135
Tabela 27 – Utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário tendencial.....	137
Tabela 28 – Compatibilidade das ETEs em relação às modalidades e usos recomendados pelo CNRH (2022)	139
Tabela 29 – Respostas obtidas a partir do questionário de avaliação do cenário da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água	146
Tabela 30 – Resultados dos questionários de avaliação do cenário da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água	148
Tabela 31 – Resultados da análise SWOT realizada em outros países	158
Tabela 32 – Matriz SWOT/PESTLE com os aspectos relevantes da RH10/SC considerados pelas partes interessadas	160

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos gerais relacionados ao reúso de água	31
Quadro 2 – Modalidades de reúso e aplicações	33
Quadro 3 – Classificação do reúso quanto à exposição ao público	34
Quadro 4 – Níveis e processos de tratamento para o reúso	35
Quadro 5 – Vantagens e desvantagens dos métodos CBA, ACV e MCDA.....	38
Quadro 6 – Classificação das membranas quanto ao tamanho dos poros	41
Quadro 7 – Tecnologias usuais de recuperação para o tratamento avançado de efluentes secundários antes da desinfecção	43
Quadro 8 – Principais tecnologias de desinfecção utilizadas nos sistemas de recuperação/reutilização.....	44
Quadro 9 – Tecnologias para o reúso de água na irrigação agrícola.....	45
Quadro 10 – Modalidades e usos recomendados pelo CNRH.....	57
Quadro 11 – Regulamentos sobre o reúso no Brasil	59
Quadro 12 – Etapas para o planejamento do reúso	61
Quadro 13 – Etapas para o planejamento do reúso	62
Quadro 14 – Impulsionadores do reúso no Brasil	64
Quadro 15 – Avaliação quantitativa do potencial de reúso para o Brasil	67
Quadro 16 – Etapas para o planejamento do reúso de água de acordo com as diretrizes sobre a integração da reutilização de água no planejamento e na gestão da água no contexto da WFD	73
Quadro 17 – Etapas do Plano de Ação Regional (RAP) apresentado pela rede temática SUWANU EUROPE	74
Quadro 18 – Etapas adotadas no Projeto RECLAMO na Espanha.....	77
Quadro 19 – Princípios orientadores para o desenvolvimento do WRAP.....	80
Quadro 20 – Elementos-chave para a descrição das ações	81
Quadro 21 – Resultado da análise SWOT/PESTLE no Projeto SUWANU EUROPE.....	89
Quadro 22 – Resultado da análise SWOT do caso de San Diego (EUA)	90
Quadro 23 – Resultado da análise SWOT para uma aplicação do reúso de água em hidroponia na Alemanha	93
Quadro 24 – Resultado da análise SWOT/PESTLE em Sabzevar.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
AGWR	<i>Australian Guideline for Water Recycling</i>
AMESC	Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense
AMUREL	Associação dos Municípios da Região de Laguna
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AQRM	Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico
ARESC	Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina
ARIS	Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento
ACV	Análise de Ciclo de Vida
CapEx	<i>Capital expenditure</i>
CBA	Análise de Custo-Benefício
CISAM	Consórcio Intermunicipal de Saneamento Ambiental
CJ1	Conjunto 1
CJ2	Conjunto 2
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CREST	<i>Core Research for Evolutional Science and Technology</i>
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
d.C.	Depois de Cristo
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
Epagri	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EPAR	Estação de Produção de Água de Reúso
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
EU	<i>European Union</i>
GWRS	<i>Groundwater Replenishment System</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LaRA	Laboratório de Reúso de Águas
LFA	<i>Logical Framework Approach</i> (Abordagem do Quadro Lógico)

MATTI	Índice de Tecnologia de Tratamento Mais Adequado
MBR	<i>Membrane bioreactor</i> (biorreator de membrana)
MCDA	<i>Multi-Criteria Decision Analysis</i> (Análise Multicritério de Decisão)
MF	Microfiltração
NF	Nanofiltração
NSW	New South Wales
OMS	Organização Mundial da Saúde
OpEx	<i>Operational expenditure</i>
OR	Osmose reversa
PESP	Plano de Execução Sistemático da Pesquisa
PERH/SC	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PESTLE	Políticos, Econômicos, Sociais, Tecnológicos, Ambientais e Legais
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
QMRA	<i>Quantitative Microbiological Risk Assessment</i>
RAP	<i>Regional Action Plan</i> (Plano de Ação Regional)
RH9	Região Hidrográfica 9
RH10/SC	Região Hidrográfica 10
RPD	Reúso Potável Direto
RPI	Reúso Potável Indireto
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i> (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças)
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UE	União Europeia
UF	Ultrafiltração
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
Unesc	Universidade do Extremo Sul Catarinense
Unisul	Universidade do Sul de Santa Catarina

USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
UV	Ultravioleta
WFD	<i>Water Framework Directive</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
WRAP	<i>National Water Reuse Action Plan</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

h	– Hora
kg	– Quilograma
L	– Litro
m ³	– Metros cúbicos
µm	– Micrometro
nm	– Nanometro
n°	– Número
NMP/100 ml	– Número máximo permitido em 100 ml
%	– Percentual
R\$	– Real
s	– Segundos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	21
1.2 PERGUNTA DE PESQUISA	27
1.3 HIPÓTESES	28
1.4 OBJETIVOS	28
1.4.1 Objetivo geral	28
1.4.2 Objetivos específicos	28
1.5 ESTRUTURA DA TESE	29
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE O REÚSO DE ÁGUA	31
2.2 MODALIDADES E CLASSIFICAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA	32
2.3 REQUISITOS DE TRATAMENTO.....	35
2.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA O REÚSO DE ÁGUA.....	36
2.5 REÚSO DE ÁGUA NO CONTEXTO ATUAL.....	46
2.5.1 Reúso no mundo	46
2.5.2 Reúso no Brasil	49
2.5.3 Reúso de água em Santa Catarina	52
2.6 REGULAMENTAÇÃO SOBRE O REÚSO DE ÁGUA	52
2.6.1 Legislação internacional	52
2.6.2 Legislação no Brasil	57
2.7 PLANEJAMENTO DO REÚSO DE ÁGUA	60
2.7.1 Planejamento do reúso de água no Brasil	62
2.7.2 Planejamento do reúso de água na Europa	72
2.7.3 Planejamento do reúso de água nos Estados Unidos	78
2.8 METODOLOGIAS DA ANÁLISE DE CENÁRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUA ..	81
2.8.1 Análise SWOT	82
2.8.2 Análise PESTLE	83
2.8.2.1 Aspectos políticos.....	84
2.8.2.2 Aspectos econômicos.....	84
2.8.2.3 Aspectos sociais.....	85
2.8.2.4 Aspectos tecnológicos.....	86
2.8.2.5 Aspectos ambientais	86
2.8.2.6 Aspectos legais	87

2.8.3 Utilização das análises SWOT e PESTLE para o reúso de água	87
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	99
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	99
3.2 PLANO DE EXECUÇÃO SISTEMÁTICO DA PESQUISA (PESP)	100
4 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	104
4.1 SELEÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	104
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	104
4.2.1 Recursos hídricos superficiais	106
4.2.2 Clima	106
4.2.3 Eventos de inundação e seca	107
4.2.4 Caracterização da área da região RH10/SC	108
4.2.5 Demografia e dinâmica populacional	109
4.2.6 Atividades econômicas	110
4.2.7 Caracterização da infraestrutura de saneamento	112
4.2.7.1 <i>Abastecimento de água</i>	112
4.2.7.2 <i>Esgotamento sanitário</i>	114
4.2.8 Diagnóstico da disponibilidade hídrica	115
4.2.8.1 <i>Análise quantitativa dos recursos hídricos</i>	115
4.2.8.2 <i>Análise qualitativa dos recursos hídricos</i>	116
4.2.9 Usos da água	117
4.2.10 Balanço hídrico qualiquantitativo	119
4.2.11 Cenário tendencial futuro – evolução da demanda hídrica de retirada	121
4.2.12 Cenário tendencial futuro – balanço hídrico qualiquantitativo	124
4.2.13 Alternativas para a compatibilização entre a disponibilidade hídrica e as demandas	125
5 POTENCIALIDADE DA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA PARA O REÚSO DE ÁGUA	127
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA RH10/SC	127
5.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA	130
5.2.1 Capacidade de produção de água de reúso para o cenário atual	130
5.2.2 Capacidade de produção de água de reúso para o cenário tendencial ..	131

5.3 VERIFICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO COMO FONTE ALTERNATIVA DE ÁGUA PARA AS FINALIDADES DE CONSUMO NÃO POTÁVEL NA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA	133
5.3.1 Verificação quantitativa do potencial de utilização da água de reúso como fonte alternativa de água para as finalidades de consumo não potável	134
<i>5.3.1.1 Verificação quantitativa do potencial de utilização da água de reúso para o cenário atual.....</i>	<i>135</i>
<i>5.3.1.2 Verificação quantitativa do potencial de utilização da água de reúso para o cenário tendencial</i>	<i>136</i>
5.4 AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DA RH10/SC PARA O REÚSO DE ÁGUA	140
6 PERCEPÇÃO LOCAL E DESAFIOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA PARA O REÚSO DE ÁGUA	142
6.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS COM INFLUÊNCIA NO REÚSO DE ÁGUA	142
6.2 IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DAS PARTES INTERESSADAS NA RH10/SC	143
6.3 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS COM AS PARTES INTERESSADAS	145
6.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS.....	147
6.5 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS	152
6.5.1 Pontos fortes	153
6.5.2 Pontos fracos.....	154
6.5.3 Oportunidades	155
6.5.4 Ameaças.....	156
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	163
7.1 CONCLUSÕES GERAIS.....	163
7.1.1 Objetivo a) Verificar, com base na literatura, as etapas que envolvem o desenvolvimento do planejamento estratégico para o reúso de água.....	163
7.1.2 Objetivo b) Selecionar e caracterizar região para estudo de caso	164
7.1.3 Objetivo c) Verificar as potencialidades da RH10/SC para o reúso de água não potável	165
7.1.4 Objetivo d) Verificar a percepção local e os desafios para o reúso de água não potável na RH10/SC	166
7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	167

7.3 RECOMENDAÇÕES	168
REFERÊNCIAS.....	169
APÊNDICE A – RESULTADO DA REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA	178
APÊNDICE B – RESULTADO DA VERIFICAÇÃO DA ANÁLISE SWOT/PESTLE (MATRIZ DE REFERÊNCIA)	191
APÊNDICE C – INSTITUIÇÕES IDENTIFICADAS COMO PARTES INTERESSADAS E ESPECIALISTAS NA RH10/SC	193
APÊNDICE D – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO “RELEVÂNCIA DOS ASPECTOS RELACIONADOS AO REÚSO DE ÁGUA NA PERSPECTIVA DA RH10/SC”	194

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como propósito contextualizar o tema da pesquisa, definir o problema que foi abordado, servindo como o fio condutor que guiará o desenvolvimento do trabalho, bem como, o objetivo geral e os objetivos específicos.

Ao final, é descrita a estrutura do trabalho, destacando como este e os demais capítulos estão organizados.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

No Brasil, ainda que o país seja reconhecido mundialmente por sua grande disponibilidade hídrica, eventos de escassez estão ocorrendo com maior frequência e intensidade, agravados pelas mudanças climáticas, pelo aumento da densidade populacional e pela ampliação do consumo de água. Tal situação tem levado a consequências prejudiciais à economia, à sociedade e ao meio ambiente, além de riscos à própria saúde da população (Moura *et al.*, 2020). Nessas regiões, conflitos entre estados, municípios e operadores do setor pelo domínio e acesso à água são uma realidade.

De acordo com o relatório de 2020 da *Global Water Report*, a escassez de água afeta mundialmente mais de 3 bilhões de pessoas. Além disso, o relatório aponta também que a quantidade de água doce disponível por pessoa diminuiu um quinto em duas décadas.

Nos países em desenvolvimento, o acesso das pessoas a fontes seguras de água e aos serviços de saneamento tem avançado. No entanto, esses serviços ainda deixam a desejar para as pessoas em situação de pobreza urbana, bem como nas áreas rurais, mostrando a desigualdade existente dentro de uma mesma região (Hall *et al.*, 2020).

Sobre o aspecto da qualidade das águas, no geral, verifica-se uma melhora, contudo, os poluentes se multiplicaram e se diversificaram, colocando pressão sobre governos e serviços públicos para promoverem o aperfeiçoamento dos processos de tratamento de água e efluentes (Damania *et al.*, 2019).

No Brasil, conforme divulgado no relatório *Conjuntura dos Recursos Hídricos de 2021* (ANA, 2021), de 2017 a 2020 aproximadamente 89 milhões de pessoas

foram afetadas por secas e estiagens, e cerca de 128 milhões de habitantes viviam em cidades com risco hídrico. Ainda segundo divulgado pela ANA (2021), dependendo da região, as alterações climáticas tiveram efeitos diferentes nas águas do país. A avaliação dos impactos climáticos na disponibilidade hídrica do Brasil deu-se por meio de resultados obtidos com as modelagens baseadas nos modelos climáticos globais e demonstraram uma preponderância de cenários de diminuição da disponibilidade hídrica, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Além dos fatores relacionados ao clima que contribuem para a escassez hídrica regional, os aspectos associados à quantidade e à qualidade da água disponível, os índices de coleta e tratamento de esgotos, o lançamento inadequado de esgoto bruto nos corpos hídricos, os conflitos pelo uso dos recursos ambientais, as perdas de água nos sistemas de distribuição e os desperdícios, de maneira geral, devem ser considerados na busca por estratégias para minimizar os impactos da falta de água (Souza *et al.*, 2017, Angelakis *et al.*, 2018 e Santos e Vieira, 2020).

O relatório *Conjuntura dos Recursos Hídricos*, divulgado pela ANA (2021), cita que a demanda de água no Brasil vem crescendo continuamente ao longo dos anos, com destaque para o abastecimento das cidades, a indústria e a agricultura irrigada. A retirada para irrigação aumentou de 640 m³/s para 965 m³/s nas últimas duas décadas e representou aproximadamente 50% da retirada total dos usos consuntivos setoriais de água em 2020.

Para o futuro, estima-se um aumento de 42% das retiradas de água nos mananciais até 2040, passando de 1.947 m³/s para 2.770 m³/s, um incremento de 26 trilhões de litros ao ano extraídos de mananciais. Esses dados reforçam a necessidade de ações de planejamento para que os usos se desenvolvam com segurança hídrica, evitando crises e proporcionando os empregos múltiplos da água, principalmente quando considerados os efeitos das mudanças climáticas no ciclo da água.

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) mostram que, no Brasil, no ano de 2020, o índice de perdas de água na distribuição foi de 40,1%. Esse percentual representa a fração do volume de água disponibilizado pelas estações de tratamento, mas não faturado por não ter sido contabilizado como volume utilizado pelos consumidores, seja por vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas – isto é, perdas reais e

aparentes. Esse dado representa um aumento de 0,9% no índice de perdas na distribuição com relação a 2019 e mantém a tendência observada desde 2016, com crescimento médio anual de 0,7%.

Os estados com maiores índices de perdas pertencem às macrorregiões Nordeste – Rio Grande do Norte (51,4%) e Maranhão (59,1%) – e Norte – Amazonas (59,3%), Rondônia (59,6%), Roraima (60,5%), Acre (62,1%) e Amapá (74,6%). Santa Catarina, com um índice de perdas de 37%, se coloca num cenário pouco melhor em relação à (Brasil, 2022).

Em relação à coleta e ao tratamento de esgotos, o Brasil apresenta ainda índices muito distantes do conceito de universalização estabelecido no país com a Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualizou o marco legal do saneamento no país e determinou a meta de 90% para o atendimento em termos de coleta e tratamento de esgotos nos municípios até 2033.

Em 2020, menos de 60% da população urbana brasileira eram atendidos por coleta de esgoto, e menos de 40% do esgoto gerado em todo o país era tratado, sendo que os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Rondônia e Pará apresentaram esses índices abaixo dos 15%. Em Santa Catarina, o índice de coleta e tratamento de esgotos era de 26%, e cerca de 47% da população possuía solução individual de tratamento (ANA, 2020).

Além dos baixos índices de coleta e tratamento de esgotos, é importante destacar a qualidade dos efluentes tratados no Brasil. Segundo Lima *et al.* (2020a), até 2017, 30% da vazão dos efluentes tratados no Brasil passavam somente por etapa primária ou primária avançada, garantindo desempenho médio de redução de matéria orgânica da ordem de 60%, e apenas 7% passavam por etapa terciária de desinfecção.

Em Santa Catarina, a redução dos volumes de água disponíveis nos mananciais, decorrente de estiagens, tem provocado restrições ao abastecimento para o uso da população e às mudanças de hábitos de consumo. Além disso, nesses períodos de seca prolongada, há o aumento significativo de incêndios em áreas verdes, que demandam o uso intensivo de grandes volumes de água para o seu combate.

Segundo informação do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC), de 2017, no balanço hídrico quali-quantitativo superficial das

dez regiões hidrográficas (RHs) do estado, no qual a vazão de diluição é incluída, é observada alta criticidade em todas as RHs, sendo esse balanço, na maioria das regiões, classificado como “insustentável”. Esse resultado indica incapacidade da maioria das RHs de diluir as cargas orgânicas lançadas em corpos hídricos, o que requer investimentos em saneamento urbano e rural.

Os fatores determinantes para a situação de insustentabilidade observada nas RHs apontadas no PERH/SC foram: a grande demanda para a irrigação de culturas como arroz, a alta densidade populacional urbana, o grande aporte de turistas nas bacias litorâneas, o elevado consumo de água industrial e a insuficiência de infraestrutura de saneamento urbano e rural relacionado à criação animal.

Para reverter a situação atual de criticidade no balanço hídrico em Santa Catarina, bem como para evitar o agravamento futuro, o PERH/SC propõe alternativas para compatibilizar disponibilidade e demandas por água, entre as quais o reúso de água.

Diante desse cenário, visando a reverter a situação e evitar o agravamento, faz-se necessária a adoção de alternativas e estratégias, a fim de compatibilizar a disponibilidade e as demanda pelo uso de água. Nesse contexto, o reúso de água oriundo de efluentes tratados representa uma prática importante não só para minimizar as consequências da escassez hídrica, mas também para promover a preservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental (Morais; Santos, 2019; Mannina; Gulhan; Ni, 2022).

A reutilização segura é uma contribuição radical para o velho paradigma da gestão dos recursos hídricos, que raramente considerava o valor da reciclagem dos efluentes e a sua reutilização para usos potáveis (Torjada, 2020).

Desde o início da Idade do Bronze (3200-1100 a.C.), segundo Angelakis *et al.* (2018), os efluentes domésticos vêm sendo utilizados para irrigação e aquicultura por várias civilizações, incluindo aquelas que se desenvolveram na China e no Oriente, no Egito, no Vale do Indo, na Mesopotâmia e em Creta. De 1000 a.C. a 330 d.C., os efluentes eram empregados para fins de irrigação e fertilização pelos gregos e, mais tarde, pelas civilizações romanas, especialmente em áreas periféricas de cidades importantes como Atenas e Roma.

No período contemporâneo (1900 d.C.-presente), muitas mudanças ocorreram quanto à recuperação e à reutilização da água, principalmente nas

últimas três décadas. Em tempos mais recentes, efluentes tratados foram aplicados em irrigação e agricultura primeiramente em cidades europeias e depois nos EUA.

Para Angelakis *et al.* (2018), uma das mudanças mais relevantes foi o reconhecimento da importância da reutilização de água na gestão integrada dos recursos hídricos. A água de reúso tornou-se uma alternativa nova, uma fonte adicional e confiável de abastecimento para inúmeros usos. Essa abordagem foi reconhecida em 2017 pelas Nações Unidas por meio do *World Water Development Report*. Nesse período, a reutilização da água expandiu a fronteira da agricultura e da irrigação para os usos urbanos restritos e uma grande variedade de outros empregos, incluindo reutilização potável.

Feita essa contextualização histórica, foi verificado que atualmente o reúso de água a partir de estações de tratamento de efluentes (ETEs) é uma prática adotada em todos os continentes e reconhecida como importante estratégia para mitigar os efeitos da escassez hídrica e contribuir para a sustentabilidade.

Ainda assim, a reutilização de água urbana está longe de atingir o seu máximo potencial em países com restrições de água, apesar da disponibilidade de efluentes tratados. É estimado que a adoção dessa estratégia não ultrapasse 50% do total dos efluentes tratados disponíveis em países com condições de estresse hídrico, como China (8%), México (23%), Singapura (38%) e Catar (47%) (FAO, 2024).

Entretanto, apesar dos diversos benefícios associados ao reúso de água, sua aplicabilidade não é comum no Brasil, estando condicionada a questões legais, estruturais e de aceitação pública. Dessa forma, para mudança desse cenário, o desenvolvimento de um planejamento baseado nas potencialidades e vocações locais para o reúso observado as características e particularidades de cada região e o envolvimento das partes interessadas é etapa fundamental.

A avaliação e gerenciamento de riscos potenciais aos usuários e ao meio ambiente; conhecimento e envolvimento das partes interessadas; e adoção de estratégias para comunicação, sensibilização e capacitação são etapas que envolvem o planejamento para o reúso de água em nível regional (WFD, 2016; EPA, 2020).

Para Asano e Mills (1990), o planejamento para a reutilização da água evolui por meio de oito etapas: caracterização da área de estudo e das instalações de

saneamento, requisitos para o tratamento e a qualidade dos efluentes tratados, avaliação de riscos, identificação de potenciais usuários, comunicação, viabilidade técnica e econômico-financeira, plano de ação e planejamento financeiro para implantação.

Nos países desenvolvidos, regulamentos nacionais orientam a respeito do reúso de água. A União Europeia, por exemplo, publicou em 2016 o *Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the Water Framework Directive*, estabelecendo as diretrizes e etapas para o desenvolvimento do reúso de água (WFD, 2016). De acordo com esse documento, o planejamento para o reúso de água precisa ser capaz de se adaptar às distintas realidades; para isso, a avaliação de cenários constitui-se uma etapa fundamental na elaboração dos planos.

Nos Estados Unidos, o *National Water Reuse Action Plan (WRAP)*, foi publicado em 2020 pela *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)* descrevendo 37 ações e mais de 200 marcos para implantação do reúso de água, resultado de um processo que exigiu o envolvimento substancial das partes interessadas, incluindo parceiros federais, associações de água, associações estaduais, parceiros internacionais, governos locais, organizações não governamentais, serviços públicos de água, parceiros da indústria e universidades. As ações do WRAP tiveram por objetivo impulsionar o progresso da reutilização no país e abordar as barreiras locais e nacionais em uma série de tópicos, incluindo aspectos técnicos, institucionais e financeiros (EPA, 2020).

Além da regulamentação, o conhecimento da realidade e das potencialidades locais é elemento fundamental para a adoção do reúso de água em âmbito regional. Nesse contexto, entre as metodologias e ferramentas utilizadas para a avaliação de cenários na construção do planejamento em nível estratégico, a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) e a análise PESTLE (*Political, Economic, Socio-Cultural, Technological, Environmental e Legal*) vêm sendo empregadas em estudos sobre o reúso de água (Vardopoulos *et al.*, 2021).

Na análise SWOT, é realizada uma avaliação do ambiente interno, para identificar aspectos considerados como pontos fortes e fracos, e uma avaliação do ambiente externo, constatando as oportunidades e ameaças ao negócio. Uma matriz

de combinação é elaborada, correlacionando as informações e definindo os pontos críticos que demandarão iniciativas e ações específicas para potencializar o sucesso do planejamento (Lozano; Valles, 2007). A análise PESTLE é uma ferramenta que avalia a influência e a relação de aspectos externos (políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais) com um negócio (Rastogi; Trivedi, 2016).

Estudos desenvolvidos por Mainali *et al.* (2011), Pérez e Berbel (2020), Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) e Canaj e Mehmeti (2024) se utilizaram das análises SWOT e PESTLE para avaliar cenários e potencialidades para o reúso de água em diferentes regiões nos Estados Unidos, na Europa e no Irã. Entretanto, destaca-se que essas ferramentas ainda não foram aplicadas a fim de verificar potencialidades e desafios relacionados ao reúso de água no cenário brasileiro, o que evidencia a necessidade de realização de novos estudos.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar as potencialidades e os desafios quanto à perspectiva do reúso de água não potável visando à sustentabilidade hídrica regional.

Relacionadas ao reúso de águas, o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mais especificamente o Laboratório de Reúso de Águas (LaRA), tem desenvolvido diversas pesquisas com resultados promissores e que serviram também de contribuição para esta pesquisa (Provenzi, 2005; Nagel-Hassemer, 2006; Maestri, 2007; Campello, 2009; Belli *et al.*, 2014a, 2014b, 2016; Costa *et al.*, 2017, 2018; Battistelli, 2018; Cecato, 2019; Souza, 2019; Ravadelli, 2021; Rodrigues, 2021).

1.2 PERGUNTA DE PESQUISA

De acordo com os aspectos abordados na contextualização do tema da pesquisa, verifica-se ainda hoje uma lacuna no estado da arte, que é o baixo número de estudos relacionados ao planejamento, etapa fundamental que precede a prática do reúso de água. Nesse sentido, tem-se a pergunta de pesquisa: Quais as potencialidades e os desafios associados ao reúso da água regional, considerando aspectos políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais?

1.3 HIPÓTESES

A partir da pergunta de pesquisa, foram postuladas as seguintes hipóteses:

- a) O conhecimento das características regionais e o envolvimento das partes interessadas são etapas fundamentais para o desenvolvimento do planejamento regional do reúso de água.
- b) O desenvolvimento de um planejamento estratégico contribui para a redução da exposição dos usuários e do meio ambiente aos riscos associados ao reúso de água.
- c) O reúso de água é uma boa prática que colabora para o desenvolvimento socioeconômico de uma região.
- d) O reúso de água é uma prática sustentável para regiões com déficit hídrico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar as potencialidades e os desafios para o reúso de água na Região Hidrográfica nº 10 de Santa Catarina (RH10/SC).

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Verificar, com base na literatura, as etapas que envolvem o desenvolvimento do planejamento estratégico para o reúso de água.
- b) Selecionar e caracterizar região para estudo de caso.
- c) Avaliar as potencialidades da RH10/SC para o reúso de água não potável.
- d) Verificar a percepção local e os desafios para o reúso de água não potável na RH10/SC.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

A presente tese visa a abordar de forma detalhada os problemas de pesquisa identificados ao longo do estudo, que foram estruturados em capítulos, cada um focado em diferentes aspectos pertinentes ao campo de investigação.

Os capítulos foram organizados de maneira a fornecer uma análise compreensível sobre as etapas do desenvolvimento da pesquisa.

Assim, o Capítulo 1 constitui-se pela introdução, explicitando a contextualização, pergunta de pesquisa, as hipóteses, objetivos (geral e específicos), finalizando com a estrutura da tese.

A sequência do Capítulo 2 se opera em razão da fundamentação teórica e engloba a revisão teórica, e é baseado na revisão sistemática integrativa da literatura apresentada um arcabouço teórico para dar sustentação a tese.

Os procedimentos metodológicos da pesquisa e seu desenvolvimento é apresentado no Capítulo 3, trazendo consigo sua caracterização, procedimentos metodológicos e fluxograma de trabalho com as etapas da pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta as informações e os fundamentos que justificam a seleção da região de estudo para o desenvolvimento desta pesquisa e a caracterização da região.

No Capítulo 5, é realizada a análise da potencialidade da região para o reúso de água, que inclui a caracterização das Estações de Tratamento de Esgotos da região, a verificação da capacidade de produção de água de reúso a partir das ETE e a verificação da utilização da água de reúso como fonte alternativa as finalidades de consumo não potável de água.

O Capítulo 6, apresenta a percepção e os desafios na RH10/SC para o reúso de água na visão das partes interessadas, que inclui inicialmente a identificação dos aspectos com influência no reúso de água na região, a identificação e seleção das instituições reconhecidas como partes interessadas e a aplicação de questionários com as partes interessadas para verificação dos pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças na região sob as perspectivas políticas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais.

O Capítulo 7, finaliza esta tese e apresentada as contribuições e reflexões finais sobre esta pesquisa abordando os principais achados e implicações do

estudo, destacando áreas que necessitam de investigação adicional. Além disso, neste capítulo, são discutidas as dificuldades e limitações encontradas durante a pesquisa e elencadas sugestões para trabalhos futuros. Ao final, apresenta-se as referências, os apêndices e o anexo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Triviños (2002, p. 104), “não é possível interpretar, explicar e compreender a realidade sem um referencial teórico”. Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo apresentar o arcabouço teórico que embasa a pesquisa.

Uma revisão sistemática integrativa da literatura foi realizada, com a busca nos bancos de dados *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*, assim como em outras fontes de dados, como teses, dissertações, publicações de instituições nacionais e internacionais, livros e outros artigos relevantes para a pesquisa. Tal procedimento permitiu organizar e resumir as evidências disponíveis sobre o tema de estudo. Os resultados da revisão sistemática integrativa estão apresentados no Apêndice A.

2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES SOBRE O REÚSO DE ÁGUA

Para o desenvolvimento desta tese, faz-se necessário inicialmente estabelecer alguns conceitos e definições gerais relacionados ao reúso de água que serão abordados neste trabalho (Quadro 1).

Quadro 1 – Conceitos gerais relacionados ao reúso de água (continua)

Termos	Conceitos
Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	Instalação composta de um conjunto de diferentes operações e processos unitários para a remoção de contaminantes presentes no esgoto. O nível de tratamento é condizente com o tipo de tecnologia adotado e a qualidade desejada do efluente. O tratamento em nível secundário reduz as concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos, além de matéria orgânica. No entanto, não remove de maneira eficiente os nutrientes e microrganismos patogênicos. A remoção desses parâmetros está condicionada à modalidade de reúso.
Estação Produtora de Água para Reúso (EPAR)	Uma “Estação de Tratamento Avançado” produz efluente tratado com qualidade superior ao tratamento em nível secundário. Caso a água tratada seja destinada ao reúso, a estação passa a ser considerada como uma “Estação Produtora de Água para Reúso (EPAR)”. Ressalta-se ainda que seu nível de tratamento é definido a partir da qualidade de água almejada para o uso predeterminado, sendo inseridas as tecnologias no seu fluxograma para se atingir a eficiência necessária.

Quadro 1 – Conceitos gerais relacionados ao reúso de água (conclusão)

Termos	Conceitos
Água de reúso ou água para reutilização	Água produzida por uma EPAR com o objetivo de reinserção nos ciclos urbano ou rural da água. Sua qualidade deve ser compatível com o uso e oferecer os menores riscos possíveis à saúde humana e ao meio ambiente. No contexto internacional, os termos mais utilizados são “água reciclada” (<i>recycled water</i>) e “água recuperada” (<i>reclaimed water</i>). Não se consideram adequados os termos “reúso de efluente” ou “reúso de efluente tratado”.
Reúso de água	Termo adotado para a utilização de efluentes tratados em diferentes modalidades e usos. Tem como requisito primordial a adequação da qualidade da água ao uso almejado, sempre com base na segurança sanitária e ambiental.
Reúso direto	Refere-se ao uso planejado da água produzida em uma EPAR, sem que haja lançamento prévio em corpos d’água superficiais ou subterrâneos. Neste caso, não há diluição em outras fontes de água anteriormente ao uso.
Reúso indireto	Refere-se ao efluente de uma ETE/EPAR utilizado para qualquer finalidade após lançamento em um corpo hídrico superficial ou subterrâneo. Neste caso, prevê-se uma diluição em outras fontes de água anteriormente ao uso.
Reúso interno	Refere-se ao efluente tratado quando utilizado dentro das próprias instalações onde ele foi produzido, nomeadamente na própria ETE/EPAR ou no mesmo estabelecimento.
Reúso externo	Refere-se ao efluente tratado quando encaminhado para reúso em ambientes externos àquele onde ele foi produzido. Ou seja, para usuários externos.

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2021)

Estabelecidos os conceitos gerais relacionados ao reúso de água, serão apresentadas a seguir as diferentes modalidades e formas de classificação do reúso.

2.2 MODALIDADES E CLASSIFICAÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA

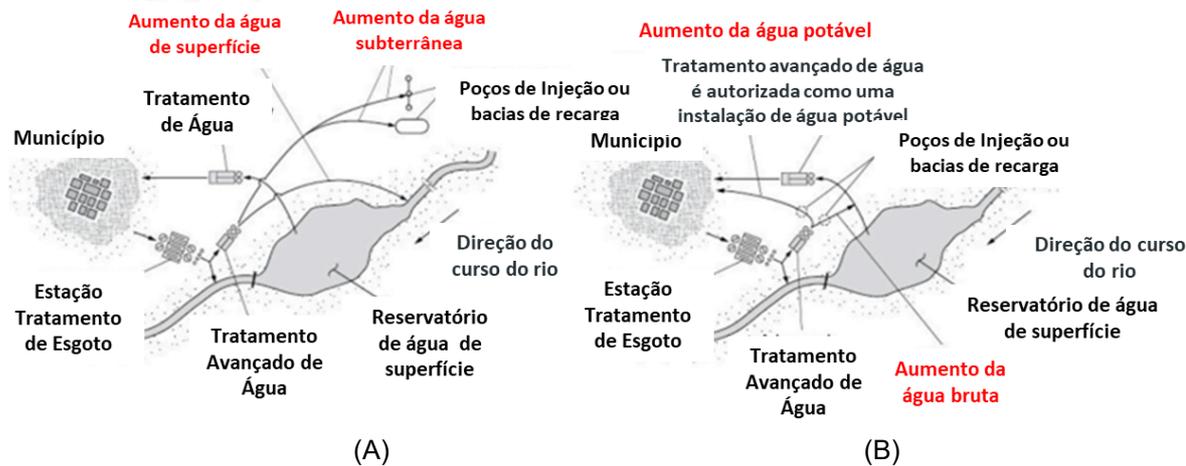
Assim como os conceitos gerais, é importante também elencar as diferentes modalidades de reúso aplicadas mundialmente, classificadas em função das qualidades requeridas, do uso potável ou não potável e dos usos prioritários (finalidade). O Quadro 2 lista as modalidades de reúso que serão consideradas neste trabalho, e a Figura 1 apresenta um esquema dos reúsos direto e indireto.

Quadro 2 – Modalidades de reúso e aplicações

Modalidades	Conceitos
Não potável	<p>Reúso agrícola</p> <p>Aplicação da água de reúso em irrigação de diferentes tipos de cultura e por meio de diversos tipos de equipamentos de irrigação. Ressalta-se que os distintos tipos de cultura requerem águas de variadas qualidades. Em geral, nesse processo incluem-se os seguintes aspectos relacionados às culturas: i) consumo cru ou após algum tipo de processamento; ii) desenvolvimento rente ou distante do solo; iii) consumo humano ou não; iv) que apresentam contato direto com a água de irrigação ou não; e outros.</p>
	<p>Reúso urbano</p> <p>Aplicação da água de reúso em ambientes urbanos para: usos como lavagem de pátios, estacionamentos, logradouros públicos e similares; irrigação paisagística de canteiros, praças e parques; lavagem de veículos comuns e especiais, como trens, metrô, aviões, ônibus e caminhões de lixo; desobstrução de galerias de águas pluviais e/ou tubulações de esgoto; diversas situações na construção civil, como cura de concreto, maquinário que utiliza água para o funcionamento, umectação de solo, abaixamento de poeira; combate a incêndio; descarga de bacia sanitária em sistemas descentralizados.</p>
	<p>Reúso industrial</p> <p>Aplicação da água de reúso em ambientes industriais: i) aplicação no parque industrial como água de processo e/ou em equipamentos como caldeiras e torres de resfriamento; ii) aplicação do tipo urbano, porém em ambiente industrial. Nesse caso, a água de reúso para atividades industriais pode ser proveniente de um reúso interno ou externo, bem como de um sistema centralizado ou descentralizado.</p>
	<p>Recarga de aquífero</p> <p>Aplicação da água de reúso para controle de intrusão salina em aquíferos, para recarga de aquífero e controle e prevenção de subsidência.</p>
	<p>Reúso em piscicultura ou aquicultura</p> <p>Aproveitamento na criação de espécies aquáticas (aquicultura) ou especificamente de peixes (piscicultura). A água de reúso é então direcionada aos tanques de criação dessas espécies, geralmente destinadas ao consumo humano.</p>
	<p>Reúso ambiental</p> <p>O reúso ambiental se caracteriza por aplicação em situações que consideram algum tipo de recuperação ambiental, como a de áreas degradadas, florestas plantadas, recarga de aquífero, aumento de vazão em lagos ornamentais, fixação de vazões ecológicas de cursos d'água e outros.</p>
Potável	<p>Reúso potável direto</p> <p>É a inserção da água de reúso no sistema de abastecimento de água, sem amortecimento ambiental (como diluição em águas subterrâneas ou superficiais) previamente à captação. Ou seja, a água de reúso é misturada diretamente àquela captada do manancial (superficial ou subterrâneo) para tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA) ou àquela potável, no sistema de distribuição.</p>
	<p>Reúso potável indireto</p> <p>A água de reúso é diluída no manancial de captação (superficial ou subterrâneo), de forma planejada, para aumento da vazão e posterior tratamento e distribuição.</p>
	<p>Reúso potável indireto não planejado</p> <p>Quando o efluente é lançado indiscriminadamente, sem planejamento, no corpo d'água, a montante de uma captação para abastecimento de água.</p>

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2007) e Santos *et al.* (2021).

Figura 1 – Representação do reúso indireto (A) e do reúso direto (B)



Fonte: Adaptado de Angelakis *et al.* (2018).

Entre as diferentes modalidades e aplicações apresentadas, o reúso ainda pode ser classificado em função do acesso e da exposição ao público e aos usuários, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação do reúso quanto à exposição ao público

Reúso restrito	Trata-se de uma classificação a partir do grau de restrição ao usuário. No reúso restrito, o acesso do público à água de reúso é restringido, e, portanto, há maior flexibilidade em relação à qualidade exigida.
Reúso irrestrito	De maneira análoga, trata-se de uma classificação a partir do grau de restrição ao usuário. Entretanto, no reúso irrestrito, o acesso do público à água de reúso é liberado, e, portanto, deve haver maior rigor e exigência em relação à qualidade da água.

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2007) e Santos *et al.* (2021).

A partir da abordagem das diferentes modalidades e classificações para o reúso de água, serão apresentados os requisitos de qualidade e tratamento para o condicionamento da água para o reúso.

2.3 REQUISITOS DE TRATAMENTO

O nível de tratamento do efluente sanitário para fins de reúso e a tecnologia a ser empregada variam conforme o grau de qualidade da água requerido para a modalidade de reúso a ser praticada, de modo a alcançar maior eficiência econômica e sustentabilidade ambiental sem aumentar o risco para a saúde pública. Conseqüentemente, diferentes agências e organizações estabelecem em regulamentos e diretrizes os níveis de tratamento e processos mais indicados para o reúso de acordo com os requisitos de qualidade e as finalidades de uso.

O tratamento em nível secundário é o mais frequentemente exigido nos regulamentos e nas diretrizes, assim como a desinfecção, que é requerida em complementação ao processo de tratamento (Shoushtarian; Negahban-Azar, 2020).

O Quadro 4 apresenta os níveis de tratamento previstos em regulamentos e diretrizes internacionais

Quadro 4 – Níveis e processos de tratamento para o reúso

(continua)

Nível de Tratamento	Descrição	Processo de tratamento	Número de aparições em regulamentos e diretrizes	Regulamentos e diretrizes
Primário	Eliminação de sólidos suspensos	Sedimentação	4	Wyoming, Egito, China, AGWR
		Clarificação físico-química: coagulação/floculação	3	Montana, Egito e FAO
			3	ISO, Idaho e Washington
Secundário	Remoção de carbono e alguns nutrientes	-	35	EPA, ISO, Colúmbia Britânica, Alberta, Alabama, Canadá Atlântico, Sascachevão, Arizona, Califórnia, Colorado, Flórida, Geórgia, Illinois, Indiana, Iowa, Minnesota, Nevada, Nova Jérsei, Novo México, Dakota do Norte, Oklahoma, Pensilvânia, Virgínia, Wyoming, Chipre, Portugal, Grécia, União Europeia, Egito, China, NSW, AGWR
		<i>Wetland</i>	1	ISO
		Lagoas	4	Sascachevão, Illinois, AGWR
		Oxidação	6	Califórnia, Havaí, Idaho, Montana, Oregon, Washington
		Reatores biológicos rotativos	1	Indiana
		Clarificação	2	ISO, Idaho
		Lagoas de estabilização e maturação	5	FAO, ISO, Arizona, Indiana, Portugal

Quadro 4 – Níveis e processos de tratamento para o reúso (conclusão)

Nível de Tratamento	Descrição	Processo de tratamento	Número de aparições em regulamentos e diretrizes	Regulamentos e diretrizes
Terciário	Polimento	-	8	Califórnia, Minnesota, Carolina do Norte, Dakota do Norte, Chipre, Portugal, Egito, NSW
		Filtração	20	EPA, ISO, Colúmbia Britânica, Arizona, Califórnia, Geórgia, Havaí, Idaho, Minnesota, Nova Jérsei, Carolina do Norte, Oregon, Pensilvânia, Utah, Virgínia, Washington, Portugal, União Europeia, Egito
Desinfecção	Remoção de material em suspensão, vírus e patógenos	-	33	EPA, ISO, Colúmbia Britânica, Alberta, Alabama, Canadá Atlântico, Sascachevão, Arizona, Califórnia, Colorado, Flórida, Geórgia, Indiana, Minnesota, Oklahoma, Pensilvânia, Virgínia, Wyoming, Havaí, Idaho, Montana, Nebraska, Oregon, Utah, Washington, Chipre, Portugal, Grécia, União Europeia, Egito, AGWR
		Cloração	1	Indiana
		Ozonização	1	Indiana
		Irradiação ultravioleta (UV)	1	Indiana
		Membranas	2	ISO, Indiana

Fonte: Adaptado de Shoushtarian e Negahban-Azar (2020).

Uma abordagem sobre as tecnologias de tratamento e as metodologias utilizadas na seleção das tecnologias para o condicionamento da água para o reúso foi apresentada a seguir.

2.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO PARA O REÚSO DE ÁGUA

Para a maioria das aplicações de reúso, inicialmente tratamentos mais rudimentares foram considerados suficientes. No passado, o processo era muito simples, especialmente para aplicações agrícolas; em muitos casos, o tratamento secundário de efluentes com desinfecção adicional ainda é considerado suficiente. O tratamento avançado foi inicialmente desenvolvido para a reutilização de água, em particular para a recarga de águas subterrâneas e a produção de água potável (Rizzo *et al.*, 2019).

Exemplos de muitos países mostram que efluentes tratados com tratamentos simplificados podem ainda promover danos ambientais, tais como poluição das águas subterrâneas, por meio da emissão de produtos químicos ambientais e micropoluentes antropogênicos, especialmente contaminantes emergentes. A fim de tornar viável a reutilização da água, o nível de tratamento deve ser “adequado à finalidade”. As tecnologias de tratamento podem ser utilizadas isoladamente ou em combinação para alcançar diferentes níveis de reutilização de águas. No entanto, à medida que o potencial de contato humano aumenta, o tratamento avançado pode se tornar necessário, e nessa condição a filtração por membranas é uma das principais tecnologias para a reutilização de água (Engelbert; Dennis; Michaela, 2020).

Segundo Rajasulochana e Preethy (2016), no contexto do tratamento de efluentes, o tratamento primário, como processos físicos por sedimentação e flotação, pode remover aproximadamente 50-70% dos sólidos suspensos totais (SST) e 25-50% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅). O tratamento secundário combina processos biológicos e químicos para remover a matéria orgânica solúvel e o SST residual após o processo primário, como lodo ativado, lagoas de oxidação e reator biológico rotativo. Contudo, o efluente secundário é limitado a aplicações com riscos para a saúde humana e a ambientes públicos. Um tratamento terciário pode ser empregado para eliminar os riscos associados à saúde. Tratamentos terciários são considerados de nível avançado e incluem principalmente processos com membranas, processos de oxidação avançada, desinfecção ou qualquer combinação deles para remover constituintes químicos e biológicos.

A variedade de tecnologias disponíveis e o baixo poder de investimento em serviços de saneamento, especialmente em regiões com economias baixas e emergentes, tornam a seleção de uma tecnologia ideal de tratamento de efluentes uma tarefa ainda mais complexa para os tomadores de decisão (Silva Júnior; Salomão; Santos, 2022).

Para apoiar a tomada de decisão para se verificar a tecnologia mais apropriada, há uma variedade de métodos que podem ser adotados e que se diferem essencialmente pelos critérios utilizados para se determinar a melhor alternativa tecnológica.

As soluções a serem avaliadas geralmente têm diferentes pontos fortes e fracos, por isso não é simples definir a mais apropriada. Diferentes escalas e critérios de avaliação podem tornar a comparação mais difícil. Além disso, a gestão de recursos de água geralmente envolve vários *stakeholders* e decisores, que podem ter distintas preferências e influenciar na tomada de decisão (Hajkowicz; Higgins, 2008). Consequentemente, há que encontrar compromissos entre objetivos conflitantes que são defendidos por diferentes partes interessadas.

Entre os critérios de avaliação conhecidos, a Análise Multicritério de Decisão (MCDA), a Análise de Custo-Benefício (CBA) e a Análise de Ciclo de Vida (ACV) são exemplos de métodos para identificar soluções ou alternativas mais favoráveis. A aplicação prática de uma metodologia de avaliação é fortemente dependente da disponibilidade de dados confiáveis e robustos, em especial para a seleção de soluções ou tecnologias para o reúso, cujas avaliações técnica, econômica, ambiental e de aspectos sociais demandam a coleta de dados de muitas fontes (Wencki *et al.*, 2020). O Quadro 5 apresenta uma visão geral de vantagens e desvantagens ou limitações dos métodos de avaliação mencionados.

Quadro 5 – Vantagens e desvantagens dos métodos CBA, ACV e MCDA
(continua)

Metodologias de avaliação	Vantagens	Desvantagens
Análise de Custo-Benefício (CBA)	<ul style="list-style-type: none"> - Abordagem de avaliação adequada para refletir a economia e, em parte, critérios de avaliação técnica. - A avaliação monetária se encaixa bem no tradicional, e a avaliação econômica influi nos processos de tomada de decisão e avaliação de conceitos. 	<ul style="list-style-type: none"> - A monetização é ambígua e pode ser questão sensível e controversa, especialmente para aspectos sociais. - Ponderação implícita ou explícita de diferentes efeitos.
Análise de Ciclo de Vida (ACV)	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação rigorosa e abrangente dos aspectos ambientais e de saúde de diferentes alternativas utilizando uma abordagem transparente e normalizada. - A análise pode ajudar a gerar ciclos de <i>feedback</i> no início da fase de inovação. 	<ul style="list-style-type: none"> - As normas e os padrões existentes não fornecem suporte sobre como identificar a solução preferida.

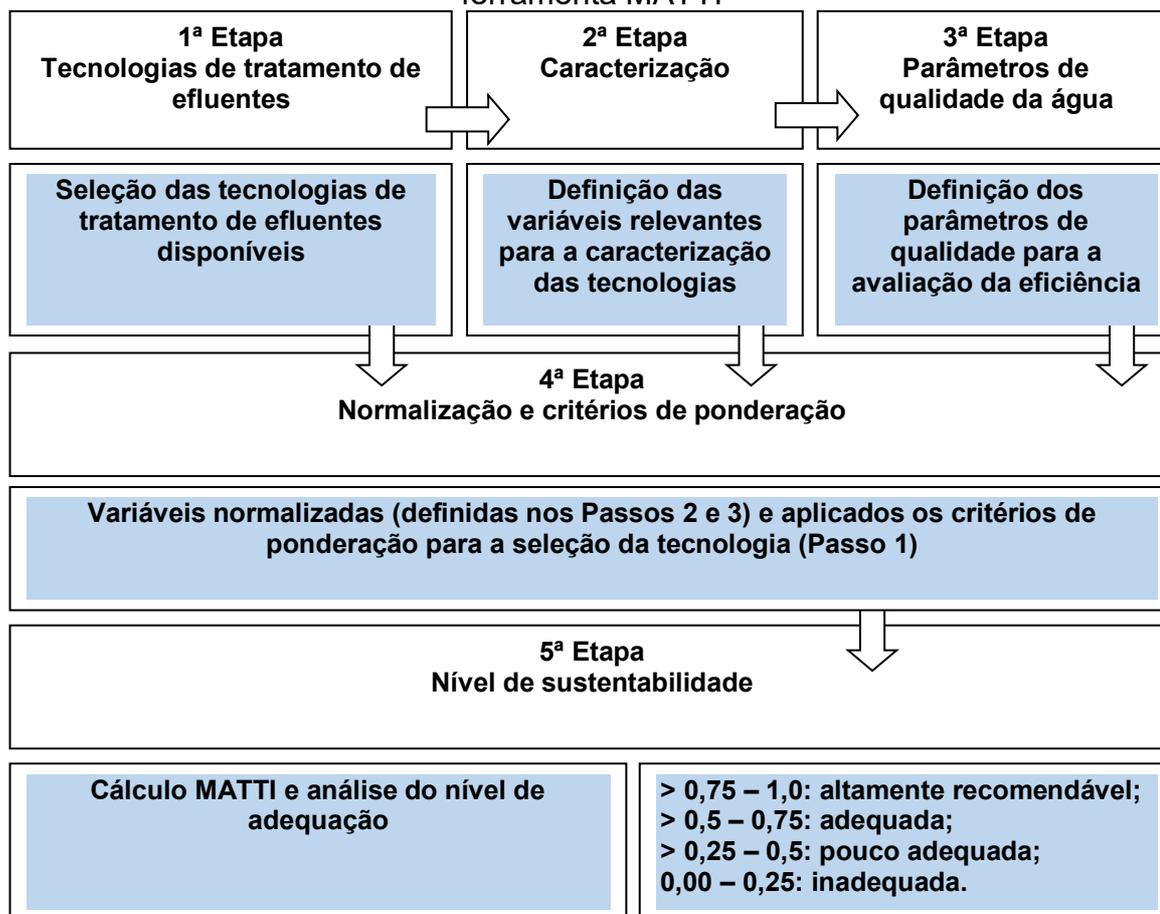
Quadro 5 – Vantagens e desvantagens dos métodos CBA, LCA e MCDA
(conclusão)

Metodologias de avaliação	Vantagens	Desvantagens
Análise Multicritérios de Decisão (MCDA)	<ul style="list-style-type: none"> - Método aberto que pode ser adaptado a problemas específicos. - Várias abordagens metodológicas bem conhecidas permitem uma seleção específica do caso de uso. - Possibilidade de ponderação específica dos objetivos e seleção de critérios de avaliação com diferentes escalas e unidades de acordo com a situação de decisão e as preferências dos tomadores de decisão. - Processo de avaliação transparente e compreensível, exigindo pouca ou nenhuma experiência em sua aplicação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não há diretrizes claras para o método específico do caso de uso seleção. - A avaliação detalhada dos critérios exige utilização complementar de outras avaliações, métodos e ferramentas. - A ponderação objetiva de critérios individuais pode apenas ser assegurado por partes interessadas com forte engajamento. - Os resultados são principalmente sensíveis às preferências dos usuários.

Fonte: Adaptado de Wencki *et al.* (2020, p. 277).

Silva Júnior, Salomão e Santos (2022) desenvolveram uma ferramenta de análise multicritério para apoiar a tomada de decisão sobre a tecnologia de tratamento de efluentes conforme as necessidades e prioridades de cada região: o Índice de Tecnologia de Tratamento Mais Adequado (MATTI). Esse índice baseia-se em cinco etapas para a tomada de decisão: i) seleção das tecnologias de tratamento de efluentes adotadas para o estudo; ii) caracterização das tecnologias a partir da definição das variáveis mais relevantes para a concepção; iii) determinação dos parâmetros de qualidade da água indicados como instrumentos de avaliação do desempenho; iv) normalização das características e do fator de ponderação de cada uma delas; v) visualização da adequação do nível de cada tecnologia às características locais (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma representando as cinco etapas para a aplicação da ferramenta MATTI



Fonte: Adaptado de Silva Júnior, Salomão e Santos (2022).

Para os usos mais nobres da água de reúso, como o uso potável direto, tratamentos avançados são adotados em múltiplas barreiras com tecnologias baseadas em membranas. Segundo Warsinger *et al.* (2018), os processos de membrana podem ser classificados em quatro categorias principais com base nos diferentes tamanhos de poros seletivos: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR). O Quadro 6 apresenta a classificação das membranas quanto ao tamanho dos poros.

Quadro 6 – Classificação das membranas quanto ao tamanho dos poros

Tipo de filtração	Porosidade	Material retido	Aplicação
Microfiltração (MF)	0,1 μm – 5 μm	Protozoários, bactérias, maioria dos vírus e partículas	Tratamento de esgoto com alta concentração de partículas suspensas
Ultrafiltração (UF)	5 nm – 100 nm	Material removido na MF mais coloides e a totalidade dos vírus	Fracionamento de substâncias macromoleculares; biofarmacêutico; tratamento de esgoto; parte do processo de tratamento de água
Nanofiltração (NF)	1 nm – 2 nm	Íons divalentes e trivalentes, moléculas orgânicas com tamanho maior do que a porosidade média da membrana	Tratamento de água; produtos farmacêuticos; alimentos; etc.
Osiose reversa (OR)	0,1 nm – 0,7 nm	Íons, praticamente toda matéria orgânica	Dessalinização da água do mar e de água salobra; Preparação de água pura e de água ultrapura; Industrial/metal pesado/impressão e tingimento; tratamento de efluentes/reúso

Fonte: Adaptado de Schneider e Tsutiya (2001) e Liu *et al.* (2021).

Segundo Viana (2004), entre as principais vantagens dos processos de separação por membranas, destacam-se:

- Alta seletividade: permite a obtenção de permeado com características bastante específicas, a partir do uso de um só processo ou do acoplamento de processos.
- Operação em temperatura ambiente: em geral, é desnecessário o controle da temperatura para promover a separação das fases.
- Simplicidade de escalonamento: é facilitada a passagem de unidades-piloto para escala comercial pela utilização de módulos comerciais em unidades experimentais.
- Baixo consumo de energia: em relação a processos convencionais de tratamento, o consumo requerido de energia é menor em razão da menor utilização de equipamentos e de volume das unidades.
- Fácil arranjo com outros sistemas.

Subtil, Hespanhol e Mierzwa (2013) demonstraram que os biorreatores com membranas submersas (MBR) podem se tornar um elemento-chave nos processos de recuperação e reúso de água. O sistema é capaz de produzir um efluente de elevada qualidade em relação à remoção de material orgânico, turbidez e organismos patogênicos, e com características constantes, praticamente independente da qualidade do afluente. Deve-se destacar também que as membranas promovem uma desinfecção efetiva do efluente, reduzindo o risco de contaminação biológica pela reutilização do efluente tratado.

Os efluentes dos processos de microfiltração ou ultrafiltração são isentos de partículas, coliformes e vírus; no entanto, esses processos não removem os nutrientes orgânicos e inorgânicos ou os poluentes orgânicos, requerendo tratamento complementar.

Havendo a necessidade, a qualidade da água de reúso produzida por microfiltração ou ultrafiltração pode ser melhorada sensivelmente com o uso de floculantes em etapa anterior (Schneider; Tsutiya, 2001).

De 2010 a 2015, foi realizado no Japão o projeto *Core Research for Evolutional Science and Technology* (CREST) para desenvolver processos de recuperação de água com eficiência energética utilizando tecnologias de membrana e processos de ozonização. Uma avaliação abrangente dos desempenhos do processo e da viabilidade econômica mostrou que o processo UF+UV (ultrafiltração + radiação ultravioleta) forneceu a remoção de vírus em um nível adequado e com baixo custo para a reutilização da água para fins agrícolas. Com base nos resultados do projeto CREST, uma planta de demonstração que incorpora o processo UF+UV foi construída na estação de tratamento de efluentes de Itoman, em Okinawa, para avaliar o desempenho em termos de remoção de vírus e para implementar a reutilização de água para fins agrícola (Takeuchi; Tanaka, 2020).

Na Califórnia, o *Groundwater Replenishment System* (GWRS), maior sistema de purificação de água do mundo, com capacidade de 492 mil m³ por dia, é empregado na reutilização potável indireta para cerca de 2,3 milhões de pessoas. Utiliza efluentes altamente tratados que eram lançados anteriormente no Oceano Pacífico, e isso se dá por meio de um processo de tratamento avançado de três etapas que consiste em microfiltração, osmose reversa, radiação ultravioleta e peróxido de hidrogênio. O processo produz água de reúso de alta qualidade que

atende a todos os padrões estaduais e federais americanos para água potável. Esse arranjo complexo fornece um tratamento de barreira múltipla de 12, 10, 10-log para a remoção de vírus entéricos, *Cryptosporidium* e *Giardia*, respectivamente (Purnell *et al.*, 2020).

Para Salgot e Folch (2018), a seleção da tecnologia a ser utilizada para as estações de tratamento de efluentes depende de muitas circunstâncias. Estações de alta tecnologia são mais adequadas para grandes cidades, e sistemas com tecnologias mais naturais são mais adequadas para pequenas cidades ou aglomerados populacionais. As tecnologias comumente utilizadas no tratamento secundário de efluentes são dos tipos físico, químico ou biológico, podendo ser empregadas isoladamente ou em combinação (Quadro 7). Deve-se considerar que, para o reúso de água, a tecnologia adotada precisa garantir a qualidade suficiente requerida para a forma de utilização, de maneira segura e legal.

Quadro 7 – Tecnologias usuais de recuperação para o tratamento avançado de efluentes secundários antes da desinfecção

(continua)

Tipo	Tecnologia	Comentários
Físico	Polimento	Lagoas de maturação.
	Coagulação-floculação	Coagulante deve ser adicionado. A agitação é necessária para uma boa floculação. Precisa de uma etapa de decantação posterior.
	Filtração	Tecnologias de membranas (nano e ultrafiltração, osmose reversa), sistemas caros com materiais filtrantes (areia, matéria orgânica, carvão, filtros multicamadas).
	Dessalinização	Geralmente utilizam tecnologias de membrana (osmose reversa, reversão de eletrodialise).
Biológico	Tecnologias com biofilme fixo	Transformação de nutrientes (principalmente formas de N), produtos químicos e matéria orgânica.
Químico (sem desinfecção)	Coagulação- floculação	Coagulante deve ser adicionado. A agitação é necessária para uma boa floculação. Necessita etapa de decantação posterior.
Microbiológico	Lagoas de maturação	Potencial de formação de algas.
	Sistemas de alto custo (exceto lagoas)	Filtração superficial e profunda em sistemas com areia, solo, substrato. Papel ativo dos biofilmes fixos. Transformação das formas N dependendo das naturezas aeróbica ou anóxica ou das condições anaeróbicas.

Quadro 7 – Tecnologias usuais de recuperação para o tratamento avançado de efluentes secundários antes da desinfecção

(conclusão)

Tipo	Tecnologia	Comentários
Sistemas combinados	Biorreator a membrana (MBR)	Combina um lodo ativado clássico (reator biológico) e no mesmo tanque uma membrana para separar o lodo ativado (flocos).

Fonte: Adaptado de Salgot e Folch (2018)

Ao reutilizar água recuperada, a desinfecção é básica, uma vez que uma das principais limitações legais e obrigatórias dessa prática é a qualidade microbiológica. As tecnologias anteriormente empregadas são utilizadas principalmente a fim de preparar a água para ser facilmente desinfetada. Por exemplo, para usar UV com bons resultados, é necessário reduzir previamente a turbidez/presença de sólidos em suspensão (Quadro 8).

Quadro 8 – Principais tecnologias de desinfecção utilizadas nos sistemas de recuperação/reutilização

(continua)

Tecnologia	Variações	Observações
Física	Radiação UV	Sistema múltiplo de lâmpadas são recomendados. As lâmpadas devem ser carregadas e trocadas após o término da sua vida útil. Não é recomendado para efluentes com alta turbidez.
	Radiação gama	Raramente empregada na Europa. Não usada para tratamento e reúso de água em pequena escala.
	Membranas	Vários tipos, o diâmetro dos poros define a capacidade de desinfecção. Ultrafiltração e nanofiltração, bem como osmose reversa, são as principais tecnologias citadas. Não poderia ser útil depois de algum tratamento natural devido ao alto teor de algas ou sólidos suspensos.
Química	Cloração	É a tecnologia mais utilizada. A ação residual é sua característica mais importante. Também adotada em combinação com outras tecnologias, principalmente UV. Geração de subprodutos durante a reação com a matéria orgânica e outros poluentes.

Quadro 8 – Principais tecnologias de desinfecção utilizadas nos sistemas de recuperação/reutilização

(conclusão)

Tecnologia	Variações	Observações
Química	Ácido peracético	Costumava ser caro, o preço foi reduzido e está ganhando mercado. Não apresenta subprodutos.
	Ozônio	Não utilizado após tratamentos extensos e em instalações pequenas. Tecnologia alto investimento e de difícil gerenciamento.
Outras	Sistemas de lagoas	A radiação UV natural promove a desinfecção. Outros processos são a extinção natural e a predação. Necessário eliminar as algas após o tratamento.

Fonte: Adaptado de Salgot e Folch (2018)

Norton-Brandão, Scherrenberg e Van Lier (2013) apresentaram uma visão geral dos estudos sobre tecnologias para o reúso de água na irrigação e suas eficiências para diferentes parâmetros, como organismos, patogenicidade, salinidade, nutrientes e metais pesados (Quadro 9).

Quadro 9 – Tecnologias para o reúso de água na irrigação agrícola

Tecnologia de tratamento	Parâmetros de qualidade para irrigação			
	Patogenicidade	Salinidade	Nutrientes	Metais pesados
Lagoas + UV	+	-	-	-
LA + LF + LM	+	-	-	-
Lagoa de oxidação	+	-	-	-
Lagoa de estabilização	+	-	-	-
Lagoas rasas	+	-	-	-
Lagoas com macrófitas	-	-	-	-
<i>Wetlands</i> construído	+	+	+	+
Ozônio	+	-	-	-
NaOCl, TiO ₂	+	-	-	-
UV	+	-	-	-
UV + ClO ₂	+	-	-	-
CAS + filtro leito móvel + GAC + ozônio	+	-	+	-
Eletrólise com condutividade	+	-	-	-
MBR	+	+	+	+
MBR com aditivos minerais	-	-	-	+
CAS	+	-	-	-
ASP	+	-	-	-
Aeração prolongada	+	-	-	-
Filtração rápida com areia	+	-	-	-
UF + OR	-	+	-	-
NF + OR	-	+	+	-
MF + NF + OR	+	+	-	-
UF + NF + OR	-	+	-	-
Eletrodialise	-	+	-	-
Eletroadsorção	-	-	+	-

Fonte: Adaptado de Norton-Brandão, Scherrenberg e Van Lier (2013).

O atual nível de conhecimento e desenvolvimento dos processos e tecnologias para o tratamento de efluentes tem se mostrado capaz de satisfazer os diferentes requisitos de qualidade para o reúso de água e a redução dos riscos aos usuários e ao meio ambiente. Como visto, os processos com membranas são os mais utilizados para finalidades de reúso mais nobres e para o reúso potável.

Uma contextualização sobre o panorama do reúso no Brasil e no mundo é apresentada a seguir.

2.5 REÚSO DE ÁGUA NO CONTEXTO ATUAL

Para a contextualização sobre a prática do reúso de água, serão apresentadas a seguir informações e dados sobre a sua adoção em diferentes continentes e países, no Brasil e localmente em Santa Catarina.

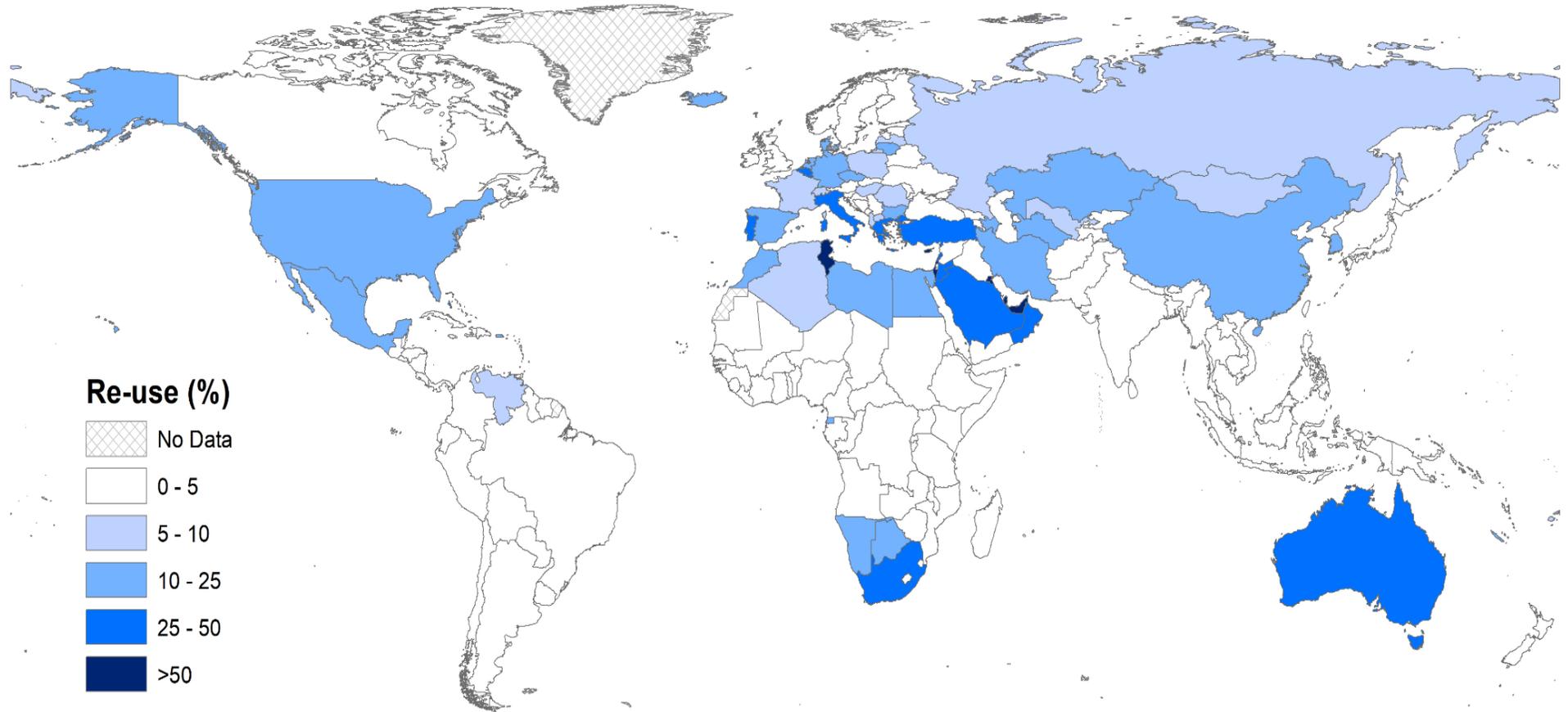
2.5.1 Reúso no mundo

Nos países desenvolvidos e mesmo nos países em desenvolvimento, a prática do reúso da água tem sido crescente em especial nas regiões com problemas relacionados à escassez hídrica, sejam estes motivados pela necessidade de atendimento ao aumento da demanda decorrente do aumento populacional ou de eventos climáticos adversos.

Em termos de volume total, China, México e Estados Unidos são os países com maiores volumes quanto à utilização de água de reúso, sendo que nos dois primeiros casos estão envolvidos também efluentes não tratados (RdA, 2022). A China ocupa o primeiro lugar em reutilização total de água, e em países como a Namíbia e os Estados Unidos são encontradas práticas de reúso potável direto.

Países em situações mais severas de estresse hídrico, como Israel, Singapura, Austrália, Chipre e Malta, apresentam índices percentuais elevados de reúso de água a partir do esgoto tratado. Países como China e Estados Unidos, além da Europa, apresentam valores absolutos elevados, da ordem de 7,1; 6,4 e 1,0 bilhões de m³ de esgoto tratado utilizados por ano, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Percentual de reúso de água a partir de esgotos tratados no mundo



Fonte: Adaptado de Jones *et al.* (2021, p. 247).

Chipre e Namíbia usam diretamente 95% dos efluentes municipais tratados, enquanto outros países que enfrentam escassez de água usam menos de 50% (FAO, 2024).

O volume de reutilização de águas é estimado em 40×10^9 m³/ano, representando aproximadamente 11% do volume total de efluentes produzidos mundialmente. Essa estimativa também indica que aproximadamente 22% dos efluentes tratados são utilizados de forma controlada, enquanto 78% são lançados no ambiente.

Em termos de vazão volumétrica, o leste asiático e o Pacífico são as regiões com maior produção de efluentes ($117,6 \times 10^9$ m³/ano), coincidindo com a maior participação da população (31%). Inversamente, o sul da Ásia produz apenas 7% dos efluentes globais, apesar de uma participação populacional de 24%, enquanto os 5% da população que vivem na América do Norte respondem por 20% da população global em termos de produção de efluentes (Jones *et al.*, 2021).

A Tabela 1 mostra que a produção de águas de reúso também varia com o nível de desenvolvimento econômico da região ou do país. As diferenças observadas entre as classificações econômicas indicam uma forte relação entre a riqueza da região ou do país e a produção de águas de reúso, independentemente da localização geográfica.

Tabela 1 – Produção, coleta, tratamento e reúso de águas por região e nível de desenvolvimento econômico

	População Global (%)	Produção (m ³ /ano/per capita)	Produção (10 ⁹ m ³ /ano)	Coleta (10 ⁹ m ³ /ano)	Tratamento (10 ⁹ m ³ /ano)	Reúso (10 ⁹ m ³ /ano)
Global	100,00	49,00	359,40	225,60	188,10	40,70
Região Geográfica						
América do Norte	4,90	209,50	74,70	59,10	50,60	9,10
América Latina e Caribe	8,50	67,60	42,10	25,20	15,40	2,10
Europe oeste	5,70	91,70	38,50	33,70	33,00	6,70
África do Norte	5,80	51,40	21,90	16,10	11,40	6,10
África Sub-Sahariana	13,60	11,00	11,00	2,50	1,80	1,60
Sul da Ásia	23,80	14,60	25,60	7,80	4,00	0,50
Leste da Europa e Ásia Central	6,60	57,90	28,20	18,40	14,90	2,60
Leste da Ásia and Pacífico	31,10	51,50	117,60	62,80	57,00	11,90
Classificação Econômica						
Alta	16,10	126,00	149,10	121,70	110,40	21,20
Médio superior	34,80	54,70	139,50	74,80	60,20	15,10
Médio inferior	40,50	22,50	66,80	28,80	17,30	4,40
Baixa	8,60	6,40	4,00	0,40	0,20	-

Fonte: Jones *et al.* (2021, p. 246).

Nos Estados Unidos, várias fontes descarregam quase 1,3 trilhão de m³ de água por dia, incluindo efluentes tratados, água de processo de indústrias e águas de refrigeração, escoamento e retorno da agricultura, petróleo e gás produzido, água

residuais e águas pluviais (incluindo a captação de águas pluviais). Uma porcentagem muito pequena dessa água é recuperada para uso posterior. Da mesma forma, a atual estimativa sugere que menos de 1% da demanda de água é atendido por meio do reúso de água. O *U.S. Geological Survey* (USGS) estima que os Estados Unidos retiram cerca de 1,2 trilhão por dia de fontes de água superficial e subterrânea (EPA, 2020).

Exemplos de aplicações de reutilização nos Estados Unidos incluem irrigação agrícola e urbana, abastecimento de água potável e não potável, recarga de aquíferos, processos industriais, barreiras de intrusão de água salgada e restauração ambiental. Um princípio central da reutilização da água nos Estados Unidos é que a fonte de água para a reutilização potencial deve ser adequadamente tratada e verificada para atender às especificações adequadas e proteger a saúde pública, o meio ambiente e qualquer outro usuário final.

Na Califórnia (EUA), por exemplo, a vazão de efluente sanitário tratado reutilizado era de aproximadamente 26 m³/s em 2009. O reúso representava menos de 5% da vazão de retirada do estado, embora isso significasse mais de 10% do portfólio de abastecimento de água de certas cidades, conforme dados de 2009 (DWR, 2013).

Em Israel, segundo Marin *et al.* (2017), 80% do esgoto tratado no país são utilizados para irrigação, representando 40% da demanda total dessa prática agrícola.

No Canadá, a reutilização de água para irrigação teve início na década de 1980, em áreas áridas do país. A resposta da população canadense à reutilização foi estudada em 2015, na *Western University*. O estudo mostrou que a maioria da população era a favor do uso do termo “água reutilizada”; no entanto, eles eram mais propensos a aceitar a água de reúso para aplicações que não envolvem beber ou ter contato pessoal próximo (Rossum, 2020).

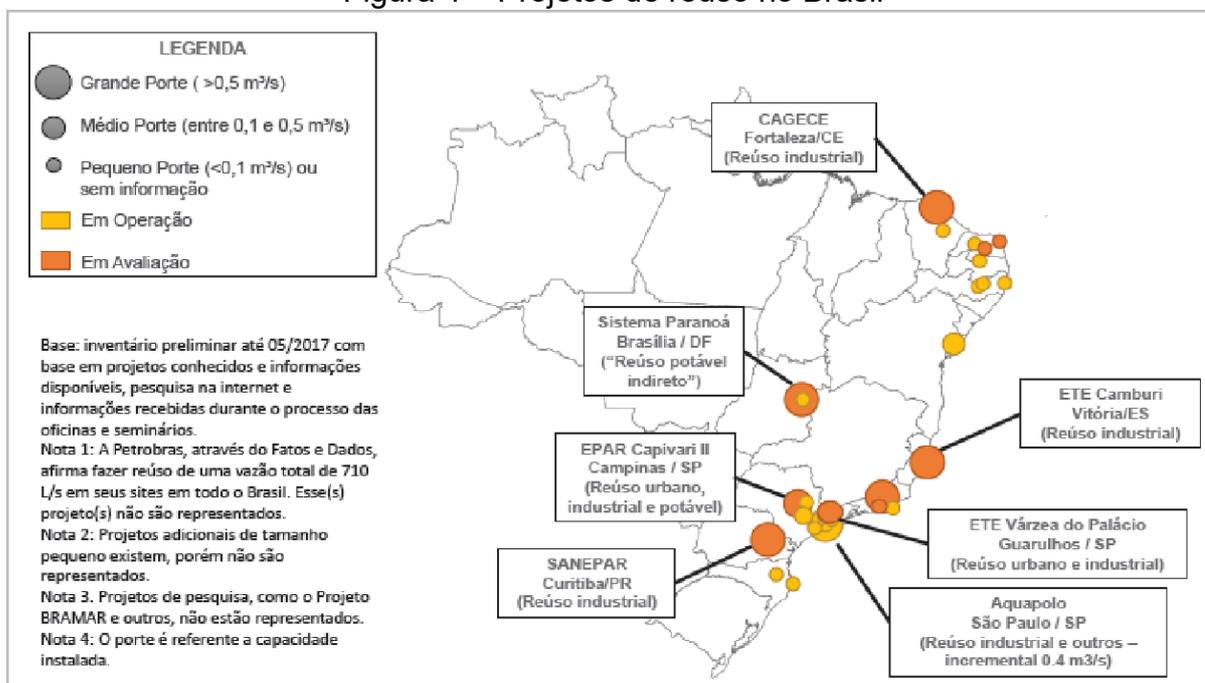
2.5.2 Reúso no Brasil

No Brasil, o reúso da água oriunda de efluentes tratados ainda é incipiente. As políticas federais existentes específicas para reúso foram aprovadas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) por meio da Resolução CNRH nº 54/2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de

reúso direto não potável, e da Resolução CNRH nº 121/2010, que determina diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água nas modalidades agrícola e florestal.

Estima-se que o Brasil possua uma capacidade instalada de uso de efluente sanitário tratado planejado de aproximadamente 2 m³/s, com uma vazão média de aproximadamente 1,6 m³/s, que representa cerca de 1,5% do seu esgoto tratado. Em comparação, os consumos de água associados aos usos urbano e industrial são de 494 m³/s e de 353 m³/s, respectivamente, de acordo com dados de 2014 (SNIRH, 2016). A Figura 4 e a Tabela 2 apresentam os principais projetos de reúso em operação ou em implantação no Brasil levantados por Interáguas (2017a).

Figura 4 – Projetos de reúso no Brasil



Fonte: Interáguas (2017a, p. 40).

Passados mais de dez anos do estabelecimento da política nacional, ainda são poucos os projetos implantados no Brasil. Para definir como e quanto essa situação poderá evoluir, é necessário considerar e entender as especificidades do país em termos de disponibilidade hídrica, nível de coleta e tratamento de esgoto, nível de maturidade da gestão dos recursos hídricos, arcabouço legal e regulatório existente, fatores estes que também são desafios enfrentados em outros países em desenvolvimento.

Tabela 2 – Projetos de reúso no Brasil

Projeto	Localização	Início de Operação	Modalidade de Reúso	Local de Utilização	Vazão média de produção	Nível de Tratamento
Aquapolo - ETE ABC	São Paulo/SP	2012	Reúso não potável para fins industriais	Empresas do Polo Petroquímico do ABC	650 l/s	Lodo Ativado com membrana de ultrafiltração e osmose reversa. Desinfecção por Dióxido de Cloro.
Projeto de reúso da ETE Parque Novo Mundo	São Paulo/SP	2008	Reúso não potável para fins urbanos e fins industriais	Algumas indústrias abastecidas pela SABESP, prefeituras e para serviços internos da própria SABESP	25 l/s	Efluente secundário seguido de tratamento físico-químico e filtração
Projeto de reúso da ETE Jesus Netto	São Paulo/SP	1998	Reúso não potável para fins urbanos e fins industriais	Algumas indústrias abastecidas pela SABESP, prefeituras e para serviços internos da própria SABESP	14 l/s	Duas linhas de tratamento: (UASB, pré-oxidação e filtro percolador) e (lodo ativado) - todos seguidos de físico-químico, filtração (areia/cartucho) e desinfecção
Projeto de reúso da ETE Capivari II - Campinas	Campinas/SP	2012	Reúso não potável para fins urbanos e fins industriais	Algumas indústrias abastecidas pela SANASA, prefeitura Municipal de Campinas e para serviços internos da própria SANASA	0,62 l/s	Biorreator com Membranas com remoção de nitrogênio e fósforo
Projeto de reúso do Word Trade Center São Paulo (WTC)	São Paulo/SP	2011	Reúso não potável para fins urbanos e fins industriais	Word Trade Center São Paulo (WTC)	3 l/s	Lodo ativado seguido de módulos de ultrafiltração
Prolagos	Armação dos Búzios/RJ	2013	Reúso não potável para fins urbanos e industriais	Campo de Golfe de Búzios	0.46 l/s	Ultrafiltração e osmose reversa Terciário
Projeto de reúso do Aeroporto de Goiânia	Goiânia/GO	2016	Reúso não potável para fins urbanos e industriais	Aeroporto de Goiânia	Não Informada	Remoção biológica de nutrientes + Filtração e desinfecção por UV

Fonte: Adaptado de Interáguas (2017a).

2.5.3 Reúso de água em Santa Catarina

O estado de Santa Catarina não possui nenhuma política ou normativa a respeito do reúso de água, somente foram identificadas iniciativas nos municípios de Florianópolis e Camboriú. Em Florianópolis, foi instituído o Programa Municipal de Conservação, Uso Racional e Reúso da Água em Edificações através da Lei Municipal nº 8.080/2009, com o propósito de incentivar o aproveitamento das águas pluviais. Em Balneário Camboriú, a Lei Municipal nº 2.641/2013 visa a incentivar o aproveitamento de águas pluviais para uso não potável em edificações públicas.

Assim como nos demais estados do Brasil, em Santa Catarina são poucas as iniciativas para o reúso de água. Em Florianópolis, os efluentes tratados de uma ETE com nível secundário e desinfecção de empreendimento residencial no bairro Ingleses do Rio Vermelho são utilizados para irrigação de um campo de golfe. No bairro Jurerê Internacional, os efluentes tratados em nível secundário são infiltrados para auxiliar na recarga do aquífero que é destinado para o abastecimento público local.

No município de Balneário Piçarras, os efluentes com nível terciário e desinfecção por ultravioleta são utilizados pelo Corpo de Bombeiros e pela Prefeitura para combate a incêndios, lavagem de ruas e desobstrução de galerias de drenagem.

2.6 REGULAMENTAÇÃO SOBRE O REÚSO DE ÁGUA

A adoção do reúso de água de forma controlada e segura para os usuários e o meio ambiente precede necessariamente a observância aos requisitos e preceitos legais, regulatórios e normativos estabelecidos em cada país. Neste tópico, serão apresentados alguns desses instrumentos vigentes no mundo e no Brasil.

2.6.1 Legislação internacional

A regulamentação da prática de reúso no mundo teve início em 1918, quando o estado da Califórnia (EUA) publicou seus primeiros padrões, considerando a aplicação de efluente tratado em culturas agrícolas não consumidas cruas (Angelakis *et al.*, 2018; Shoushtarian; Negahban-Azar, 2020). Tratava-se naquele

momento de um destino adequado, tendo em vista as propriedades de fertirrigação do esgoto.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou em 1973 suas primeiras diretrizes relacionadas ao reúso de água para irrigação, promovendo ações semelhantes em diversos países. Em 1999, adotou pela primeira vez o conceito de segurança do abastecimento de água, no contexto dos Planos de Segurança da Água, em uma abordagem baseada no risco, com o objetivo de controlar as doenças de veiculação hídrica; e, em 2006, publicou suas diretrizes para o reúso de água na agricultura. Em 2017, com base na metodologia *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA), ou Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), a OMS estabeleceu um guia para o reúso (Shoushtarian; Negahban-Azar, 2020).

As publicações da OMS têm o forte objetivo de atingir principalmente as regiões de menor desenvolvimento socioeconômico, que sofrem com cenários de escassez de água, como países da América Latina, do Caribe, da Ásia e da África. Assim, ao longo dos anos, muitos países, inclusive da Europa, adotaram as diretrizes da OMS, modificando-as de acordo com suas conveniências em relação às suas peculiaridades geográficas, econômicas e epidemiológicas (Jeong *et al.*, 2016).

Em 2020, a União Europeia (UE), por meio da Regulamentação nº 741/2020, estabeleceu os requisitos mínimos para o reúso de água para irrigação agrícola, incluindo diretrizes para os produtores de água de reúso, padrões de qualidade e diretrizes para o monitoramento (Tabela 3).

De acordo com a Comissão Europeia, essas diferenças regulatórias também levaram a diferentes condições de mercado. Além dos requisitos mínimos comuns para a qualidade da água de reúso e seu monitoramento, o novo regulamento da UE ainda estipula uma abordagem de gerenciamento de risco e estabelece padrões para a transparência de dados. A qualidade da água e os requisitos de monitoramento são endereçados ao operador da instalação de recuperação de água (UE, 2020).

Tabela 3 – Requisitos de qualidade para a água de reúso para irrigação agrícola na União Europeia

Classificação da qualidade da água de reúso	Tratamento requerido	Requisitos de qualidade				
		<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	DBO ₅ (mg/l)	SST (mg/l)	Turbidez (NTU)	<i>Legionella spp.</i>
A	Tratamento secundário, filtração e desinfecção	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	< 1.000 CFU/L onde há nematoides intestinais (ovos de helmintos): 1 ovo/L para irrigação de pastagens ou forragem
B	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 100	(1)	(1)	-	
C	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 1.000			-	
D	Tratamento secundário e desinfecção	≤ 10.000			-	

Nota: (1) Conforme Diretiva 91/271/EEC.

Fonte: adaptado da UE (2020)

Complementarmente, os países da União Europeia têm delimitado legislações próprias, como no caso de Portugal, que por meio do Decreto Lei nº 119/2019 estabelece diretrizes e padrões de qualidade para irrigação, usos urbanos e industriais (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade de água relacionados ao reúso de água em Portugal

Classe de qualidade	<i>E. Coli</i>	Ovos helmintos	Turbidez	DBO	SST
UFC/100 mL	un/L	UTN	mg/L	mg/L	mg/L
Classe A. Sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): culturas consumidas em cru em que a parte consumível está em direto contato com a água; jardins públicos sem restrição de acesso; jardins privados.	10	-	5	10	10
Classe B. Com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): culturas consumidas em cru que crescem acima do solo e em que a parte consumível não está em direto contato com a água; culturas agrícolas destinadas ao processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos; jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas.	100	-	-	25	35
Classe C. Com restrição de acesso (usos agrícolas): culturas consumidas em cru que crescem acima do solo e em que a parte consumível não está em direto contato com a água; culturas agrícolas destinadas ao processamento e culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos.	1000	1	-	25	35
Classe D. Com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia.	10.000	1	-	25	35
Classe E (2). Com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito.	10.000	-	-	40	6

Fonte: Adaptado de Santos (2020).

reutilização de água para diferentes usos finais, incluindo potável, agricultura, paisagem e reutilização de água não potável no local.

2.6.2 Legislação no Brasil

O Brasil, ainda que tenha evoluído no campo das pesquisas e da aplicação prática do reúso de água em diversos estados, no âmbito federal ainda não estabeleceu uma legislação que defina padrões de qualidade de água para as diferentes modalidades de reúso e que sirva de referência aos Estados.

Em 2005, foi publicada a Resolução nº 54, de 28 de novembro, que se limitou a especificar modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável, mas sem definir padrões de qualidade para os diferentes usos.

Somente em 2022 o CNRH disponibilizou, em 11 de novembro, para a Consulta Pública nº 08/2022, a minuta de uma nova Resolução, a fim determinar modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (Quadro 10).

Quadro 10 – Modalidades e usos recomendados pelo CNRH

Modalidades e usos	
Modalidades	Usos
Urbano irrestrito e restrito	Irrigação paisagística de instalações municipais, parques públicos, jardins de escolas e residências, descargas sanitárias, desobstrução de tubulações, lavagem de logradouros públicos e veículos, reserva de proteção a incêndios, usos na construção civil, fontes ornamentais e outros usos urbanos em áreas públicas.
Agrícola irrestrito e restrito	Aplicação em culturas que passam por processamento e/ou que a parte comestível não apresenta contato com a água de reúso.
Ambiental	Projetos de recuperação do meio ambiente, tais como manutenção de vazões dos rios ou de áreas alagadas ou inundáveis, criação ou melhoria de <i>wetlands</i> , revitalização de áreas degradadas, entre outros, de acordo com a legislação aplicável.
Aquicultura	Utilização para o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático.
Industrial	Utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais, de acordo com a legislação aplicável.

Fonte: Adaptado do CNRH (2022).

Para as distintas modalidades e usos, estabelecem-se parâmetros e valores de referência para os usos irrestritos e usos restritos, sendo o tratamento secundário mais a desinfecção o nível mínimo de tratamento requerido para qualquer modalidade.

Nesse sentido, em complementação a essa lacuna, alguns estados e municípios tomaram iniciativa e determinaram seus próprios padrões por meio de instrumentos legais próprios. O Quadro 11 apresenta os instrumentos legais, normativos e orientativos que tratam da regulamentação sobre o reúso no Brasil.

Quadro 11 – Regulamentos sobre o reúso no Brasil

Regulamentos	Estabelece padrões de reúso?	Estabelece modalidade de reúso?	Finalidade
Bahia – Resolução CONERH nº 75/2010	Sim	Sim	Fins agrícolas e/ou florestais; sem restrição de nível de tratamento; características recomendadas pela OMS; apresenta responsabilidades para o produtor da água de reúso.
São Paulo – Lei nº 16.174/2015	Não	Sim	Estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, da recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e do rebaixamento de lençol freático.
Espírito Santo – Lei nº 10.487/2016	Não	Sim	Dispõe sobre a prática do reúso de efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto para fins industriais.
Ceará – Resolução COEMA nº 02/2017	Sim	Sim	Voltada para lançamento de efluentes, reúso direto de água, reúso externo (agrícola/florestal, urbano, ambiental, industrial e aquicultura) e reúso interno; apresenta padrões mais restritivos para uso agrícola florestal.
Goiás – Decreto nº 9.505/2019	Não	Sim	Institui o selo azul sustentável para o reconhecimento das iniciativas municipais que favoreçam o uso racional e a redução do consumo de água potável.
São Paulo – Resolução Conjunta SES/ SIMA nº 01/2020	Sim	Sim	Fins urbanos; restritivos em relação aos padrões; tratamento mínimo secundário, desinfecção e filtração; apresenta atribuições para produtor e usuário da água de reúso; identificação dos veículos e tanques.
Rio de Janeiro – Lei nº 9.043/2020	Não	Sim	Cria o programa estadual de reúso de ETE para fins industriais.
Rio Grande do Sul – Resolução CONSEMA nº 419/2020	Sim	Sim	Voltada para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais; licenciamento ambiental para o gerador ou o usuário da água de reúso.
Minas Gerais – Deliberação Normativa CERH nº 65/2020	Sim	Sim	Voltada para fins agrossilvipastoris, urbanos, ambientais e industriais; padrões mais flexíveis; objetiva a aplicação e o incentivo da prática; padrões para reúso em fertirrigação; apresenta responsabilidades para o produtor, o distribuidor e o usuário da água de reúso.
Rio Grande do Norte – Resolução CONSEMA nº 419/2020	Sim	Sim	Estabelece critérios e procedimentos para a utilização não potável de água de reuso proveniente de efluentes líquidos tratados de origem industrial ou sanitária, para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais, no estado do Rio Grande do Sul.
Distrito Federal – Resolução nº 005/2022	Sim	Sim	Estabelece diretriz para o aproveitamento ou o reúso de água não potável em edificações no Distrito Federal.
Mato Grosso do Sul – Resolução CERH/MS nº 72/2022	Sim	Sim	Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável proveniente de ETEs de sistemas públicos e privados e dá outras providências.
Paraná – Resolução CERH nº 122/2023	Sim	Sim	Estabelece diretrizes e critérios gerais para o reuso de água proveniente de efluentes tratados de origem sanitária ou industrial, para fins urbanos, agrícolas, florestais, ambientais e industriais no estado do Paraná.

Fonte: Elaborado pelo pesquisador com base em Moraes & Santos (2019), Moura et al. (2020), Santos (2022), Água & Efluentes (2024).

Como observado neste tópico, países com maior nível de desenvolvimento e maior aplicação do reúso de água possuem instrumentos legais, normativos e regulatórios consolidados que vêm sendo aperfeiçoados com o avanço do conhecimento prático e acadêmico. No Brasil, na ausência de uma legislação nacional de referência, como mencionado, diferentes estados vêm buscando suprir essa lacuna com a publicação de legislações e regulamentações regionais, assim estabelecendo requisitos e critérios para a prática do reúso de água de uma forma controlada e segura.

2.7 PLANEJAMENTO DO REÚSO DE ÁGUA

O reúso de água deve estar integrado aos instrumentos de planejamento urbano nos seus diferentes níveis. Uma vez que os países ao redor do mundo possuem políticas de planejamento específicas, é necessário analisar, para cada região, em que níveis de planejamento o reúso de água pode ser implantado direta ou indiretamente.

Usualmente, o tema “reúso de água” está associado aos instrumentos de planejamento relacionados à gestão dos recursos hídricos, como planos nacionais de recursos hídricos, planos estaduais de recursos hídricos e planos de gestão de bacias hidrográficas. Mas, também, o reúso de água pode ser considerado nos planos de ordenamento urbano, planos de desenvolvimento rural e planos de saneamento. O conjunto desses diferentes instrumentos deve nortear o planejamento para o reúso de água num âmbito regional.

O desafio atual é que há poucas informações disponíveis sobre como o reúso de água pode ser planejado e integrado aos instrumentos de planejamento em diferentes escalas, bem como sobre o planejamento como instrumento de gestão relacionado à prática do reúso de água. Grande parte da literatura observada apresenta exemplos de planejamento adotado para projetos e obras específicas. Como na maioria dos casos, porém, a reutilização da água é uma fonte de água auxiliar; assim, é importante que o planejamento observe também a utilização de outras fontes para necessidades específicas de água.

Para Asano e Mills (1990), o planejamento para a reutilização da água evolui por meio de oito etapas. Todavia, nos dias atuais, minimamente outros três aspectos devem ser observados, quais são: avaliação e gerenciamento de riscos potenciais

aos usuários e ao meio ambiente; conhecimento e envolvimento das partes interessadas; e adoção de estratégias para comunicação, sensibilização e capacitação (Quadro 12).

Quadro 12 – Etapas para o planejamento do reúso

(continua)

Etapa	Etapas de planejamento do reúso de água
1	Caracterização da área de estudo: bacias hidrográficas, águas superficiais, uso do solo e crescimento da população.
2	Caracterização das instalações de abastecimento de água: fontes e qualidades de abastecimento, descrição das principais instalações, tendências de utilização da água, necessidades futuras de instalações, gerenciamento, problemas, custos anuais e futuros de água doce, subsídios e preços aos clientes.
3	Caracterização das instalações de esgotamento sanitário: descrição das principais instalações, quantidade e qualidade do esgoto tratado, variações sazonais de fluxo, horário e qualidade, necessidades futuras de instalações, necessidade de controle da fonte de componentes que afetam a reutilização e descrição de reutilização existente (utilizadores, quantidades, acordos contratuais e preços).
4	Requisitos de tratamento para lançamento e utilização de esgotos tratados e outras restrições: requisitos relacionados à saúde e à qualidade da água, requisitos de qualidade de água para usuários específicos e controle de usos.
5	Avaliação de riscos: avaliação de riscos potenciais aos usuários e ao meio ambiente e proposição de plano de monitoramento e gerenciamento de riscos.
6	Potenciais clientes para a água de reúso: descrição dos procedimentos de análise de mercado, potenciais usuários de água de reúso e resultados da pesquisa de usuários.
7	Conhecimento e envolvimento das partes interessadas na construção do planejamento: identificação de instituições governamentais, não governamentais, sociedade civil, usuários, indústria e demais segmentos com potencial relação com a utilização da água de reúso.
8	Estratégias de comunicação, capacitação e sensibilização das partes interessadas e da população em geral sobre o reúso de água.
9	Análise de alternativas de projeto: custos de capital e de operação, viabilidade de engenharia, análise econômica, análise financeira, análise de energia, efeitos da qualidade da água, aceitação pública e de mercado, efeitos dos direitos, efeitos ambientais e sociais, comparação de alternativas e seleção, como: alternativas de tratamento; mercados alternativos e áreas de serviço; alternativas para distribuição por rede; locais de reservação; alternativa de água doce; alternativa de controle da poluição e nenhuma alternativa ao projeto.
10	Plano de recomendações: descrição da proposta com critérios preliminares do projeto, custo projetado, potenciais usuários e compromissos, quantidade e variação da demanda de água de reúso em relação ao abastecimento, viabilidade do abastecimento e necessidade de abastecimento de água suplementar ou reserva, plano de implantação e plano de operação.

Quadro 12 – Etapas para o planejamento do reúso

(conclusão)

11	Plano de financiamento da construção e programas de receitas: fontes e fundos para o projeto e a construção; política de preços da água recuperada; alocação de custos para os beneficiários do abastecimento e para o controle da poluição; projeto de utilização futura da água recuperada; preços da água doce; custos do projeto de recuperação; receita total; subsídios; custos irre recuperáveis e endividamento; análise da sensibilidade das condições de mudança.
----	---

Fonte: Adaptado de Asano e Mills (1990).

A seguir, serão apresentadas as iniciativas relacionadas ao planejamento do reúso de água verificadas no Brasil, na Europa e nos Estados Unidos.

2.7.1 Planejamento do reúso de água no Brasil

No Brasil, poucas ainda são as iniciativas voltadas ao planejamento do reúso de água. Em 2017, em nível federal, o Programa de Desenvolvimento do Setor Água (Interáguas) foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para o fortalecimento da capacidade de planejamento e gestão no setor de água, especialmente nas regiões menos desenvolvidas do país. No programa, utilizou-se uma metodologia estruturada em dois níveis para a análise da potencialidade regional do reúso no Brasil: avaliação qualitativa e avaliação quantitativa.

A avaliação qualitativa das potencialidades do reúso em nível regional foi dividida em quatro etapas de acordo com o Programa Interáguas, conforme o Quadro 13.

Quadro 13 – Etapas para o planejamento do reúso

Etapa	Etapas para o Planejamento do Reúso de Água
1	Análise das condições atuais e futuras (horizonte: 2025), com base nos dados disponíveis em nível nacional, quanto às potencialidades de reúso: População; Uso da água por setor; Áreas de estresse hídrico; e Vazões de esgotos municipais e níveis de tratamento existentes.
2	Documentação dos projetos de reúso existentes ou em fase de avaliação, de iniciativas atuais para identificar novos projetos e outros aspectos institucionais.
3	Descrição em nível macro dos impulsionadores do reúso e grandes oportunidades em cada região, na documentação dos projetos existentes ou em fase de avaliação.
4	Descrição dos sucessos e desafios não só na implantação de projetos de reúso, mas também na definição/identificação de projetos existentes.

Fonte: Interáguas (2017b).

Como resultado do desenvolvimento do Programa, foram identificados os principais impulsionadores de reúso e descritas de maneira qualitativa as grandes potencialidades de reúso por modalidades nas diferentes regiões do Brasil, conforme resumido no Quadro 14.

Quadro 14 – Impulsionadores do reúso no Brasil

(continua)

Região	Impulsionadores primários em curto/médio prazo	Oportunidades potencialmente viáveis em curto/médio prazo			
		Reúso agrícola e aquicultura	Reúso industrial	Reúso urbano	Reúso potável e outros
Centro-Oeste	Necessidade de fonte adicional de água (principalmente na região do Distrito Federal).	Setor que consome mais água no Centro-Oeste e que provavelmente apresentaria boa oportunidade para reúso; embora, com os dados disponíveis, não tenha sido possível verificar se os consumidores estão próximos às ETEs.	Apresentaria oportunidades de reúso em polos industriais onde existe ETE próxima; não foi possível identificar polos específicos com os dados disponíveis. Não parece existir um bom potencial para reúso em termelétricas.	Oportunidade nas grandes regiões metropolitanas, como Distrito Federal e Goiânia, particularmente associadas a novos negócios.	Oportunidades de Reúso Potável Indireto (RPI) existem particularmente na proximidade entre as ETEs e os reservatórios (como é o caso de Brasília). Se existirem oportunidades de Reúso Potável Direto (RPD), serão muito pontuais.
Nordeste	Necessidade de fonte adicional de água combinada com a necessidade de desenvolver alternativas de tratamento de efluente sanitário (devido à escassa vazão dos rios para diluição, especialmente no Semiárido).	Setor que consome mais água no Nordeste e que provavelmente apresenta boa oportunidade para reúso; embora, com os dados disponíveis, não tenha sido possível verificar se os consumidores estão próximos às ETEs, e não foram encontrados estudos de viabilidade detalhados (exceto o Estudo de Reúso com Lagoas de Estabilização – Potencialidade no Ceará)	Setor não tem um consumo muito expressivo, se comparado aos outros consumidores. Apresentaria oportunidades de reúso em polos industriais (ou para termelétricas de grande porte) onde existe ETE próxima, como na região metropolitana de Fortaleza.	Oportunidade nas grandes regiões metropolitanas, como Recife, Fortaleza, Salvador, particularmente associadas a novos negócios.	Oportunidades de RPI existem particularmente onde acontece intrusão salina em decorrência da superexploração de águas subterrâneas e/ou onde existe proximidade entre as ETEs e os reservatórios. Se existirem oportunidades de RPD, serão muito pontuais.

Quadro 14 – Impulsionadores do reúso no Brasil

(continuação)

Região	Impulsionadores primários em curto/médio prazo	Oportunidades potencialmente viáveis em curto/médio prazo			
		Reúso agrícola e aquicultura	Reúso industrial	Reúso urbano	Reúso potável e outras
Norte	Impulsionadores limitados para reúso nesta região, com exceção de alguns locais no Tocantins.	Poucas oportunidades em curto e médio prazo, em comparação às outras regiões; contudo, existe necessidade de novos mananciais em áreas onde há geração e tratamento de efluente sanitário, como em Tocantins. Teria que ser analisado em nível mais detalhado.			
Sudeste	Necessidade de fonte adicional de água, particularmente em grandes centros urbanos.	Setor que consome mais água no Sudeste e que provavelmente apresenta boa oportunidade para reúso, como nas bacias hidrográficas de Mogi-Guaçu e de Pardo, embora com os dados disponíveis não tenha sido possível verificar consumidores próximos às ETEs (com exceção do método de irrigação por pivôs centrais).	Setor que parece apresentar boa oportunidade para reúso na região – particularmente para polos industriais localizados perto de ETEs na região metropolitana de São Paulo, Campinas, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Vale do Paraíba, entre outras.	Oportunidade nas grandes regiões metropolitanas: São Paulo, Campinas, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Vitória.	Se existirem oportunidades de RPI ou RPD, serão muito pontuais.

Quadro 14 – Impulsionadores do reúso no Brasil

(conclusão)

Região	Impulsionadores primários em curto/médio prazo	Oportunidades potencialmente viáveis em curto/médio prazo			
		Reúso agrícola e aquicultura	Reúso industrial	Reúso urbano	Reúso potável e outras
Sul	Necessidade de fonte adicional de água, particularmente em grandes centros urbanos.	Setor que consome mais água no Sul e que provavelmente apresenta boa oportunidade para reúso; porém, com os dados disponíveis, não foi possível verificar se os consumidores estão próximos às ETES.	Sem consumo expressivo. Apresentaria oportunidades de reúso em polos industriais (ou para termelétricas de grande porte) onde existe ETE próxima, como na Região Metropolitana de Porto Alegre, Curitiba e Joinville.	Oportunidade nas grandes regiões metropolitanas, como Curitiba e Porto Alegre.	Oportunidades de RPI existem particularmente onde há proximidade entre as ETES e os reservatórios. Se existirem oportunidades de RPD, serão muito pontuais.

Fonte: Adaptado de Interáguas (2017b).

Para a avaliação quantitativa o Programa teve como objetivo obter uma ordem de grandeza relativa à vazão de esgoto que poderia ser reaproveitada de maneira planejada e sustentável no Brasil, em curto/médio prazo, para apoiar a definição de metas. A seguir, é descrita a metodologia utilizada.

Inicialmente, foi realizado um levantamento das informações existentes e disponíveis em nível nacional, e com base nesses dados foi possível agrupar as informações e captar resultados por região. Foram consultados inventários dos projetos de reúso em operação, planejados e detalhados em Planos Estaduais de Recursos Hídricos e de Saneamento Básico.

A metodologia escolhida usou como ponto de partida as vazões de esgoto sanitário para o ano base 2015, e foi aplicado um fator de correção macro e empírico para cada fator de influência que limitaria o uso do efluente para reúso, de modo a estimar o potencial de reúso, em vez de utilizar estudos de mercado.

Os resultados e as conclusões da avaliação quantitativa do potencial de reúso estão apresentados, para o Brasil e por região, no Quadro 15.

Quadro 15 – Avaliação quantitativa do potencial de reúso para o Brasil

(continua)

Região	Análise e conclusões
Brasil	<ul style="list-style-type: none"> • Estimou-se um potencial de reúso em curto/médio prazo no Brasil de aproximadamente 13 m³/s (comparado aos aproximadamente 1,6 m³/s realizados atualmente), com mais da metade desse potencial concentrada na região Sudeste. • A metodologia “<i>top down</i>” utilizada não é tão precisa quanto uma metodologia “<i>bottom up</i>” com base em estudos de viabilidade e planos de recursos hídricos em nível “local” (cidade, bacia ou estado); entretanto, ela fornece uma ordem de grandeza razoável para apoiar a definição de metas. • Não estão incluídos na análise os esgotos de ETEs de indústrias que descartam diretamente nos corpos hídricos. • A metodologia favorece a potencialidade do reúso potável indireto, porém a viabilidade deve ser analisada mais detalhadamente no futuro. • O potencial estimado considera que tratamento secundário seria o nível de tratamento mínimo desejável para reúso. Foi feita a mesma análise considerando qualquer nível de tratamento. Essa análise mostra uma diferença de potencial de apenas 12% entre ambos os casos em curto/médio prazo; o fator limitante em nível macro são os índices de coleta de efluente, e não o nível de tratamento.

Quadro 15 – Avaliação quantitativa do potencial de reúso para o Brasil
(continua)

Região	Análise e conclusões
Centro-Oeste	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas 2% do território do Centro-Oeste estão localizados em áreas de estresse hídrico, incluindo grandes centros urbanos (Brasília e Goiânia). • O índice de coleta de esgoto ainda é médio. • Existem alternativas, como redução das perdas, que poderiam ser mais viáveis em curto e médio prazo. • Foi considerado que metade da vazão das ETEs que estão a mais de 20 km de distância da costa deve ser mantida para preservar a vazão nos corpos hídricos. • Assim, o potencial de reúso estimado para curto e médio prazo corresponde a aproximadamente 0,5% da vazão de retirada. Em 2015, não foram identificados projetos de reúso com vazão significativa sendo realizados na região.
Nordeste	<ul style="list-style-type: none"> • Apesar de aproximadamente 50% do território do Nordeste estar em áreas de estresse hídrico, o potencial de reúso estimado para médio prazo corresponde a aproximadamente 1% da vazão de retirada, pois o índice de coleta e tratamento de esgoto ainda é pequeno. • Existem alternativas, como redução das perdas, que são muito altas nessa região e que poderiam ser mais viáveis em curto e médio prazo. • Foi considerado que metade da vazão das ETEs que estão a mais de 20 km de distância da costa deve ser mantida para preservar a vazão nos corpos hídricos. • Até hoje, a vazão de reúso realizada corresponde somente a 20% do potencial quantificado para o ano base de 2015.
Norte	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas 0,5% do território do Norte está localizado em áreas de estresse hídrico. • Os índices de coleta e tratamento de esgoto ainda são muito baixos (menores do Brasil). • Existem alternativas, como redução das perdas, que são muito altas nessa região e que poderiam ser mais viáveis em curto e médio prazo. • Assim, o potencial de reúso estimado para curto e médio prazo é praticamente nulo. • Em 2015, não foram identificados projetos de reúso com vazão significativa sendo realizados na região.
Sudeste	<ul style="list-style-type: none"> • Apesar de aproximadamente 18% do território do Sudeste estar em áreas de estresse hídrico, o potencial de reúso estimado para médio prazo corresponde a aproximadamente 1% da vazão de retirada, pois: <ul style="list-style-type: none"> ○ o índice de coleta é bom e o de tratamento de esgoto é mediano; ○ existem alternativas, como a redução das perdas, que poderiam ser mais viáveis em curto e médio prazo; ○ foi considerado que metade da vazão das ETEs que estão a mais de 20 km de distância da costa deve ser mantida para preservar a vazão nos corpos hídricos. • Até hoje, a vazão de reúso realizada corresponde somente a 20% do potencial quantificado para o ano base de 2015.

Quadro 15 – Avaliação quantitativa do potencial de reúso para o Brasil
(conclusão)

Região	Análise e conclusões
Sul	<ul style="list-style-type: none"> • Apesar de aproximadamente 28% do território do Sul estar em áreas de estresse hídrico, o potencial de reúso estimado para o médio prazo corresponde a aproximadamente 0,5% da vazão de retirada, pois: <ul style="list-style-type: none"> ○ o índice de coleta e tratamento de esgoto ainda é mediano; ○ existem alternativas, como redução das perdas, que poderiam ser mais viáveis em curto e médio prazo; ○ foi considerado que metade da vazão das ETEs que estão a mais de 20 km de distância da costa deve ser mantida para preservar a vazão nos corpos hídricos. • Em 2015, não foram identificados projetos de reúso com vazão significativa sendo realizados na região.

Fonte: Adaptado de Interáguas (2017b).

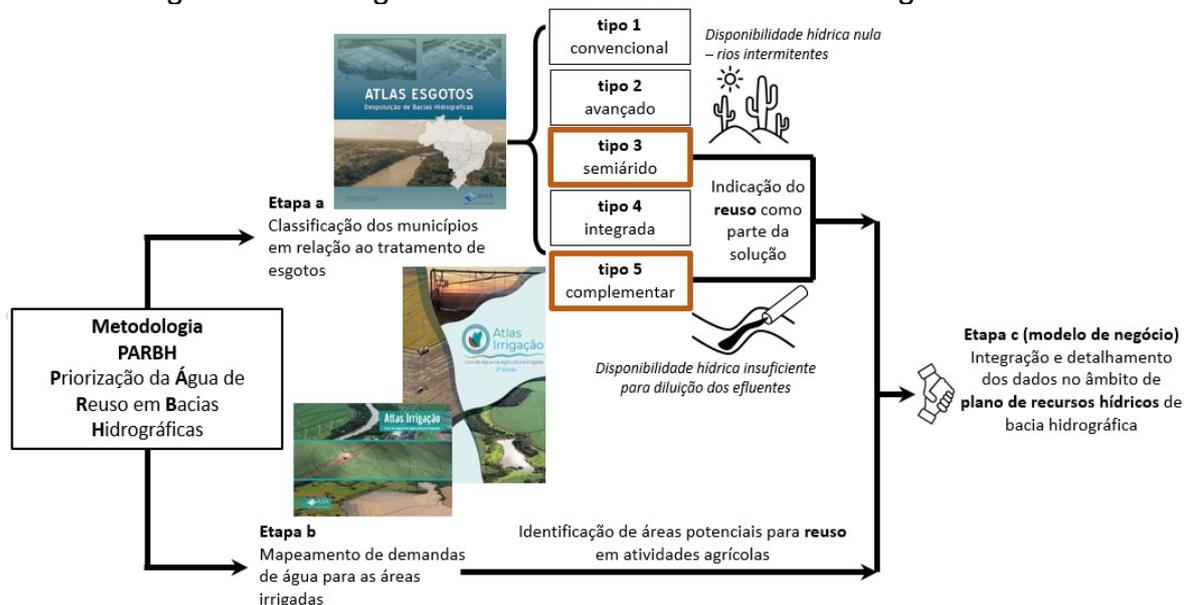
Em âmbito regional, Soares e Santos (2021) apresentaram como uma ferramenta de planejamento uma metodologia de priorização da aplicação do reúso de água (PARBH) para as bacias hidrográficas do rio Grande e dos rios Piancó-Piranhas-Açu. A metodologia consistiu em três etapas complementares:

- Etapa 1 – Classificação dos municípios a partir da complexidade do tratamento de esgotos requerido.
- Etapa 2 – Mapeamento das áreas irrigadas (atuais e potenciais) e de demandas de água para agricultura irrigada.
- Etapa 3 – Integração dos dados em uma bacia hidrográfica, no âmbito da elaboração dos planos de bacia.

Na Figura 6, é possível observar o fluxograma do detalhamento da metodologia PARBH para priorizar as ações para a adoção da prática de reúso de água, no âmbito do planejamento de ações de recursos hídricos, em duas situações distintas:

- i) Como alternativa para a minimização de impactos do lançamento de efluentes tratados em rios com baixa capacidade de assimilação.
- ii) Como alternativa de abastecimento em regiões com cenários de escassez hídrica.

Figura 6 – Fluxograma do detalhamento da metodologia PARBH

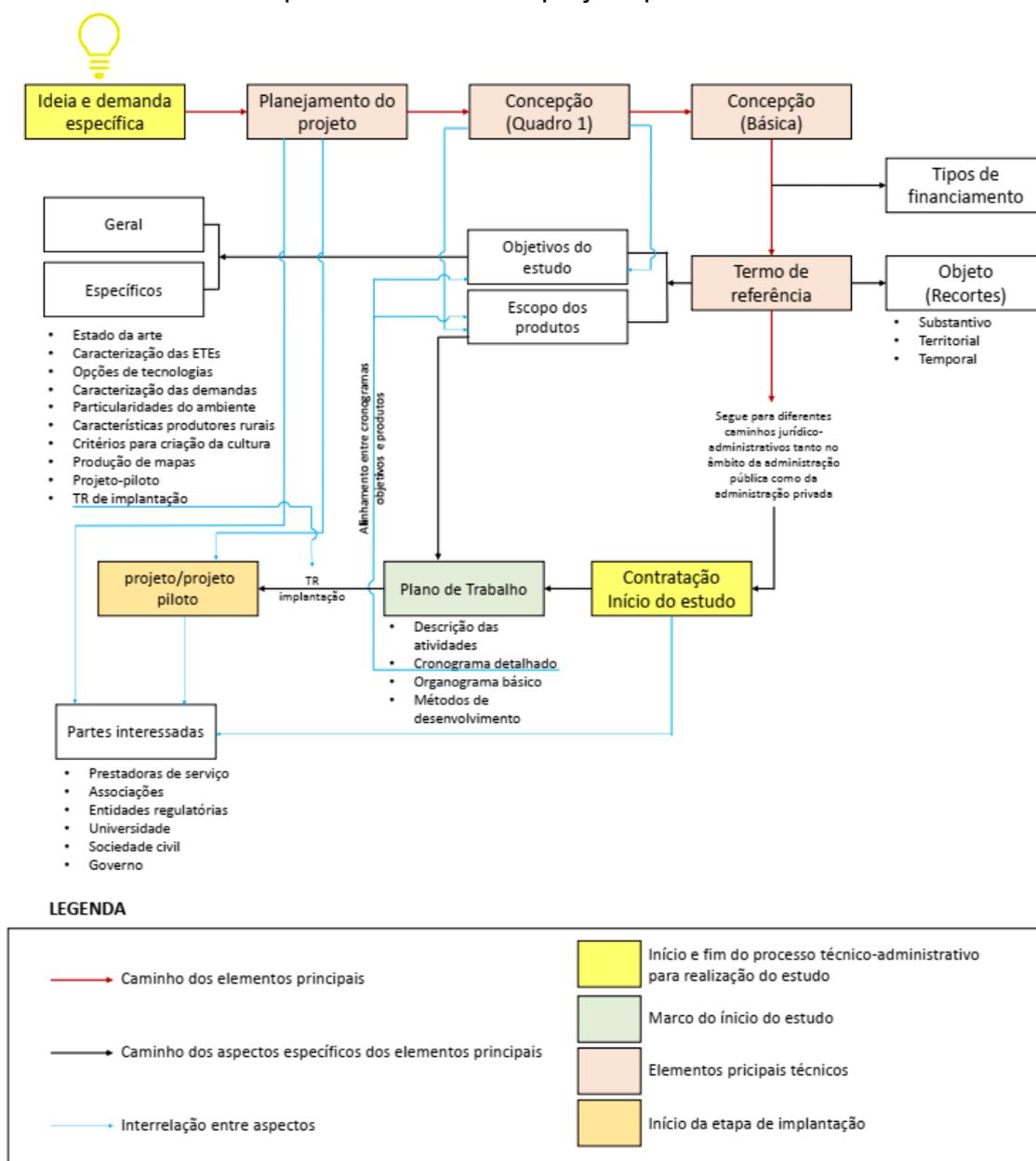


Fonte: Soares e Santos (2021).

A partir da aplicação da metodologia PARBH, verificou-se que, no caso da bacia do rio Grande, cinco municípios foram priorizados, de acordo com resultados apresentados pela avaliação de condições propostas em estudo de modelagem de qualidade de água que abordaram diferentes cenários de lançamento de efluentes nos corpos hídricos da região. No caso da bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu, verificou-se a necessidade de detalhar um modelo de negócio do reúso da água na agricultura irrigada por meio de estudos específicos.

Outro trabalho de planejamento regional foi realizado entre 2019 e 2021 pelo estado da Bahia, com a participação da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA). O *Diagnóstico do potencial de reúso de efluentes no estado da Bahia* foi realizado a partir dos efluentes tratados das ETEs do estado operadas pela EMBASA, identificando, caracterizando, quantificando e qualificando os potenciais produtores (oferta) e usuários (demanda) de água de reúso. O trabalho foi desenvolvido conforme o roteiro apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Roteiro básico aplicado ao desenvolvimento de estudo de avaliação do potencial regional de reúso desde o planejamento até a implantação do empreendimento e/ou projeto-piloto



Fonte: Soares e Santos (2021).

Como resultado do diagnóstico, verificou-se que em um cenário conservador o potencial de utilização para reúso de efluente tratado pela EMBASA é de 1.400 L/s, sendo 916 L/s para uso agrícola e 475 L/s para uso industrial, tendo como referência o ano de 2024. Para um cenário ideal, o potencial chegaria a 3.693 L/s, com 3.104 L/s para agricultura e 589 L/s para uso industrial (EMBASA, 2023).

O trabalho também identificou a estação de Vitória da Conquista como a ETE com maior possibilidade de realizar o projeto de reúso, considerando aspectos

como: demanda; distância entre os potenciais usuários da estação de tratamento, uma vez que a distribuição é um dos aspectos que pode onerar o projeto; e potencial para captação de recursos e parcerias.

A seguir, serão apresentados exemplos de iniciativas de planejamento voltadas para o reúso em outros países e instituições internacionais.

2.7.2 Planejamento do reúso de água na Europa

Em 2016, foi publicado o *Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the WATER FRAMEWORK DIRECTIVE-WFD*, traduzido como *Diretrizes sobre a integração da reutilização de água no planejamento e na gestão da água no contexto da WFD*. O referido documento estabelece diretrizes e etapas para o desenvolvimento do reúso de água nos países da União Europeia.

Estabelece o WFD (2016) que o desenvolvimento do planejamento para o reúso de água precisa ser capaz de se adaptar a circunstâncias e distintas realidades. A avaliação de cenário constitui uma etapa fundamental para o desenvolvimento dos planos. No entanto, assim como os cenários se modificam com o passar do tempo, os usuários mudam suas necessidades, os custos mudam etc. Por isso, é importante permitir a adaptação no planejamento e a flexibilidade na sua implantação.

Uma abordagem coerente exige que o planejador considere uma série de diretrizes para o planejamento do reúso de águas. Essas orientações são apresentadas dentro de uma sequência de etapas, em que cada uma depende do resultado das anteriores.

As primeiras etapas são baseadas nas etapas-chave e começam com uma análise das demandas e da caracterização dos recursos hídricos para a adoção de programas de medidas. Se adequado, a reutilização pode ser uma medida a se considerar no programa. É importante também identificar a abordagem do reúso de água nos instrumentos de planejamento nos diferentes níveis.

O Quadro 16 elenca as etapas em uma representação linear, no sentido de que começam pela análise do contexto das necessidades de água e terminam com decisões detalhadas sobre projetos e ações para o reúso (WFD, 2016).

É importante notar que a questão da participação pública não se limita a uma etapa específica. O envolvimento precoce do público é preferível, mas também é necessário um maior envolvimento em fases posteriores do planejamento.

Quadro 16 – Etapas para o planejamento do reúso de água de acordo com as diretrizes sobre a integração da reutilização de água no planejamento e na gestão da água no contexto da WFD

Etapa	Planejamento do reúso de água
1	Determinar a pressão global e o impacto da escassez de água nos recursos hídricos, os consumos de água e as necessidades quantitativas dos usuários de água (demanda). Identificar recorrência de problema significativo de escassez de água ou qualquer outro motivo para adotar a água de reúso, tais como recarga de aquíferos para gerir a intrusão de água do mar. As necessidades podem abranger irrigação, uso urbano, fins ambientais, recarga de aquíferos etc. e são passíveis de mudança ao longo do tempo. As necessidades futuras devem levar em conta todos os potenciais para a economia de água de acordo com os usos prioritários.
2	Identificar as medidas adequadas ou fontes de água alternativas para atender às necessidades, constatar claramente como cada opção abordará necessidades quantitativas específicas. Incluir no âmbito dos programas e planos de ação.
3	Identificar as quantidades disponíveis de efluentes tratados que poderiam ser reutilizados e como estes estão disponíveis para atender às necessidades individuais.
4	Determinar os requisitos de tratamento necessários e outros requisitos, garantindo utilização segura e proteção do ambiente, tendo em conta a legislação.
5	Identificar os diferentes custos (e necessidades energéticas, externalidades) associados ao tratamento das diferentes fontes de efluentes e ao fornecimento dos efluentes tratados para os diferentes usuários identificados.
6	Comparar esses custos (incluindo externalidades) com as alternativas identificadas (incluindo “nenhuma ação”) e com os benefícios (incluindo externalidades) a serem entregues, e, quando apropriado, empreender mais análises comparativas de opções alternativas.
7	Determinar as fontes de financiamento para o desenvolvimento e a operação do reúso e o pagamento adequado da água de reúso.
8	Garantir que os detalhes dos acordos/contratos são assinados pela estação de tratamento, com gestores e usuários regulando as relações entre as partes e definindo os seus deveres e as suas responsabilidades.
9	Estabelecer sistemas de controle e monitoramento para garantir o uso seguro dos efluentes tratados para as pessoas e o meio ambiente e a conformidade do operador com obrigações legais necessárias.

Fonte: Adaptado de WFD (2016).

Ainda na Europa, entre 2019 e 2021 foi desenvolvido o projeto SUWANU EUROPE, cujo objetivo principal foi originar novas estratégias para o reúso de água

capazes de resolver os problemas relacionados com a escassez de água e o aumento dos preços dos fertilizantes.

O SUWANU EUROPE consiste em uma rede temática cujo principal objetivo é enfrentar os desafios comuns que afetam o setor agrícola em toda a Europa. Para o desenvolvimento do projeto, foram selecionados oito regiões-alvo: Andaluzia (Espanha), Brunsvique (Alemanha), Tessalônica (Grécia), Plovdiv (Bulgária), Alentejo (Portugal), Bacia do Rio Pó (Itália), Occitânia (França), Antuérpia e Limburgo (Bélgica).

No desenvolvimento do projeto, foram elaborados Planos de Ação Regionais (RAPs) para a rápida implantação da reutilização de água para as oito regiões do projeto. O RAP consistia em um conjunto de ações específicas para cada região que vislumbravam superar as barreiras opostas em termos de reúso de água na agricultura. Ele forneceu os principais tópicos identificados nas análises regionais de questões prioritárias que estão no caminho da implantação bem-sucedida da reutilização da água. A realização do RAP foi possível graças à utilização da Abordagem do Quadro Lógico (LFA), um processo analítico que disponibiliza as ferramentas para o apoio de metas e o planejamento dos objetivos específicos e de gestão, utilizando *feedback* dos grupos de trabalho de cada região. A estruturação do RAP foi estabelecida em etapas conforme a seguir (Quadro 17).

Quadro 17 – Etapas do Plano de Ação Regional (RAP) apresentado pela rede temática SUWANU EUROPE

(continua)

Etapa	Planejamento regional do reúso de água
1	Estabelecimento do objetivo geral: foi definido o objetivo comum a ser observado a todos Planos de Ação Regionais.
2	Caracterização da região.

Quadro 17 – Etapas do Plano de Ação Regional (RAP) apresentado pela rede temática SUWANU EUROPE

(conclusão)

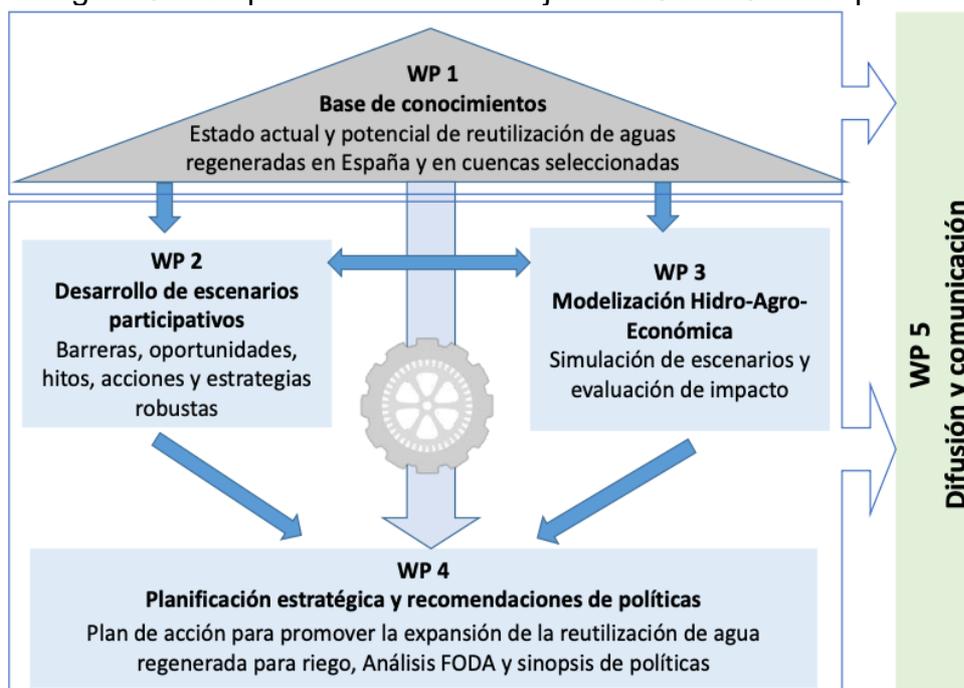
3	Análise SWOT/PESTLE: análise SWOT/PESTLE realizada para todas as oito regiões. Como resultado, foi feita uma matriz de <i>stakeholders</i> baseada no conhecimento dos principais atores, interesses, alianças, influências e conflitos existentes e potenciais, impactos da sua atividade e efetividade dos canais de comunicação. Com base nos conhecimentos adquiridos, a estratégia geral foi desenvolvida e, de acordo com os resultados das análises, os planos de ação específicos foram desenvolvidos para superar os problemas e as barreiras de implantação. Na análise SWOT, definiu-se uma classificação comum dos itens a serem abordados para as oito regiões. A abordagem concentrou-se nas forças, fraquezas, oportunidades e ameaças mais comuns para avaliar a relevância dos principais atores de cada país.
4	Resultados esperados.
5	Planos de Ação: na última etapa, cada região define as tarefas ou ações necessárias para alcançar os resultados.

Fonte: Adaptado de SUWANU EUROPE (2021b).

Outra iniciativa relevante, realizada na Espanha por um grupo de pesquisa multidisciplinar da *Universidad Politécnica de Madrid*, foi o Projeto RECLAMO entre os anos de 2013 e 2020. O projeto teve como objetivo geral fornecer soluções e recomendações destinadas a promover o pleno desenvolvimento e o reúso de água para irrigação em áreas da Espanha com estresse hídrico no contexto das mudanças. As atividades do projeto foram desenvolvidas em dois estudos de caso selecionados (a Bacia do Segura, líder na reutilização de água em Espanha e a Bacia do Guadiana, com histórias de sucesso, mas baixos níveis de reutilização de água) bem como as suas implicações sociais, econômicas e ambientais, e identificar políticas que apoiem a adoção dessa prática como solução eficiente para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos em bacias em situação de escassez hídrica (Blanco-Gutierrez *et al.*, 2021).

A Figura 8 e o Quadro 18 apresentam as etapas adotadas no projeto RECLAMO.

Figura 8 – Etapas adotadas no Projeto RECLAMO na Espanha



Fonte: Blanco-Gutierrez *et al.*, (2021, p.14).

O desenvolvimento do projeto consistiu de cinco etapas: 1) desenvolvimento de uma base de conhecimento abrangente que cubra os aspectos regulatórios, técnicos, socioeconômicos e ambientais da reutilização de água recuperada na agricultura; 2) desenvolvimento participativo de cenários futuros explorando possíveis estratégias, barreiras e oportunidades, em relação à expansão do uso de água recuperada para irrigação; 3) análise de impacto das estratégias identificadas em diferentes escalas (cultura, fazenda, (sub-)bacia), por meio do desenvolvimento de uma plataforma integrada de modelagem (modelos hidrológico-agronômico-econômicos); 4) Desenvolvimento de um roteiro e recomendações políticas para alcançar o pleno desenvolvimento e uso da reutilização de água recuperada para irrigação; 5) Disseminação do conhecimento e promoção do diálogo ciência-política-sociedade.

Quadro 18 – Etapas adotadas no Projeto RECLAMO na Espanha

Planejamento regional do reúso de água		
Etapa	Objetivo	Descrição
1	Desenvolvimento de uma base de conhecimentos que abrange aspectos de regulamentação, técnicos, sociais, econômicos e ambientais da reutilização de água de reúso na agricultura.	As informações e os dados atuais sobre a reutilização de água são pouco abrangentes e desatualizados. Nessa etapa, foi revisada a reutilização de água na Espanha em todos os setores, com foco especial na irrigação para a agricultura e sua consideração atual dentro das políticas e abordagens de gestão da água nesse país e em nível de estudo de caso.
2	Desenvolvimento participativo de cenários futuros explorando possíveis estratégias, barreiras e oportunidades em relação à expansão do uso de água de reúso para irrigação.	Esta etapa foi dedicada ao desenvolvimento de cenários com a participação ativa de <i>stakeholders</i> . Nesse sentido, desenvolverá cenários participativos em que o objetivo normativo (p. ex., alcançar o potencial de reúso de água para irrigação em 2030) é <i>backcast</i> dentro do contexto de cenários exploratórios que esboçam diferentes panoramas futuros. A integração das duas abordagens de cenário (exploratória e <i>backcasting</i>) é raramente vista, apesar do reconhecimento de que tal integração pode ajudar na efetiva coprodução dos planos de desenvolvimento.
3	Análise de impacto das estratégias identificadas em diferentes escalas através do desenvolvimento de uma plataforma de modelização integrada (modelos hidrológico-agronômicos e econômicos).	Esta etapa visa a fornecer uma avaliação verdadeiramente integrada da reutilização de água por meio do desenvolvimento de modelos hidrológico-econômico-agronômicos que permitam contabilizar todas as fontes e os usos da água e simular as interações e feedbacks entre os sistemas hidrológicos (nível da bacia), econômicos (nível da fazenda) e agrônômicos (nível da cultura). O quadro de modelização integrada aplicada foi utilizado para analisar os impactos ambientais de diferentes estratégias (identificadas na Etapa 2) intencionando a otimização das ETEs, a eficiência de irrigação e a utilização aprimorada de água de reúso na agricultura.
4	Desenvolvimento de um roteiro e recomendações políticas para alcançar o pleno desenvolvimento do aproveitamento da água de reúso para irrigação.	O objetivo desta etapa do trabalho é produzir um plano de ação para incentivar a exploração de todo o potencial de reutilização de água para irrigação, ao mesmo tempo que mitiga as ameaças à implantação bem-sucedida. Como apoio à tomada de decisão, uma análise SWOT foi realizada para entender melhor os pontos fortes e fracos, as oportunidades e as ameaças de plano de ação. Esta etapa utiliza os resultados obtidos nas etapas anteriores para fornecer recomendações políticas e informações de alto nível para os tomadores de decisão.
5	Disseminação de conhecimento e promoção do diálogo ciência-política-sociedade.	Esta etapa do trabalho contribuirá para criar e promover o diálogo entre o projeto e as partes interessadas, decisores políticos e públicos em geral, garantindo o impacto do projeto sobre a sociedade. Além disso, contribuirá apoiando a publicação de artigos de periódicos e através da apresentação das atividades do projeto e dos resultados em conferências científicas e eventos internacionais de corretagem.

Fonte: Adaptado de Blanco-Gutierrez *et al.* (2021).

Como observado neste tópico, no continente europeu, além das iniciativas individuais dos países, ações e projetos integrados vêm sendo desenvolvidos, potencializando com isso a troca de experiências, o alcance e os benefícios do reúso de água. A seguir, serão apresentados exemplos de iniciativas de planejamento para o reúso nos Estados Unidos.

2.7.3 Planejamento do reúso de água nos Estados Unidos

Os Estados Unidos são considerados um dos países com nível avançado de desenvolvimento e aplicação do reúso da água. Em 2020, em nível federal, foi publicado o *National Water Reuse Action Plan (WRAP)*, traduzido como Plano de Ação Nacional para a Reutilização da Água, contendo 37 ações e mais de 200 marcos de implantação. A Figura 9 apresenta o Plano de Ação em números.

Figura 9 – Plano de Ação para a Reutilização da Água nos Estados Unidos



Fonte: Adaptado de EPA (2020, p. 10).

As ações desse plano têm por objetivo impulsionar o progresso na reutilização de água no país e abordar as barreiras locais e nacionais em uma série de tópicos, incluindo aspectos técnicos, institucionais e financeiros. O *WRAP* envolve mais de 100 líderes e parceiros, entre eles um grupo de trabalho interinstitucional federal, colaborando para promover a reutilização em todo o país.

No processo de construção do Plano, contribuíram diferentes representantes de partes interessadas: parceiros federais, associações de água, associações estaduais, parceiros internacionais, governos locais, organizações não governamentais, serviços públicos de água, parceiros da indústria e universidades.

O processo de desenvolvimento do *WRAP* exigiu um envolvimento substancial das partes interessadas, abrangendo a comunicação de uma visão inicial para o desenvolvimento do plano, o engajamento público, a revisão de publicação de um projeto de Plano de Ação e um “apelo à ação” para o envolvimento de toda a comunidade usuária de água.

Para a execução das ações propostas, a EPA trabalhou com os líderes das ações e os parceiros para criar os planos de implantação com os respectivos marcos de implantação e as datas de conclusão, a fim de garantir o progresso (Figura 10).

Figura 10 – Etapas do desenvolvimento do Plano de Ação Nacional de Reúso da Água nos Estados Unidos



Fonte: EPA (2020, p. 5).

O desenvolvimento do projeto de Plano de Ação foi apoiado nos seguintes princípios orientadores apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 – Princípios orientadores para o desenvolvimento do WRAP

Nº	Princípios orientadores	Descrição
1	Proteger a saúde pública	A necessidade primordial consiste em assegurar a proteção da saúde pública, tendo em conta a diversidade de contaminantes (por exemplo, produtos químicos, patógenos) que podem existir em fontes de água para potencial reúso. A proteção da saúde pública é central para todos os potenciais usos finais.
2	Proteger o ambiente e a saúde dos ecossistemas	Proteger o ambiente e reconhecer que a reutilização da água pode ter impactos positivos (por exemplo, restauração de ecossistemas) e negativos (por exemplo, diminuição dos fluxos) nos ecossistemas aquáticos.
3	Promover ações baseadas em liderança, parceria e colaboração	Confiar na experiência e liderança em todos os níveis de uma gama diversificada de parceiros da água para liderar e apoiar ações.
4	Basear-se em experiências passadas	Apoiar-se e basear-se nas décadas de investigação, política, tecnologia e prática.
5	Identificar as ações de maior impacto	Implementar ações que tenham o maior valor e impacto na consideração de reúso de água.
6	Reconhecer os desafios distintos colocados pela reutilização da água	Reconhecer que a reutilização da água tem limitações e pode criar desafios, que muitas vezes exigem novos níveis de tecnologia, monitoramento e especialização da força de trabalho, dadas as características e a variabilidade das fontes de água para potencial reúso.
7	Considerar a reutilização de água em uma estrutura integrada de gestão de recursos hídricos	A reutilização de água não deve ser considerada isoladamente ou como um resultado único; em vez disso, deve ser tida como uma ferramenta potencial entre os recursos hídricos integrados (“caixa de ferramentas”) e talvez seja mais bem realizada na escala da bacia hidrográfica.
8	Delegar para o estado (federalismo cooperativo) e abranger questões e considerações locais	Reconhecer que existem fatores importantes que estão fora do escopo de um plano nacional, que podem precisar ser abordados nos níveis estadual, local ou da bacia hidrográfica. Entre eles estão prerrogativas e políticas estaduais e/ou tribais, equidade, acessibilidade, direitos à água e à justiça ambiental.
9	Comprometer-se com a implantação através da transparência e da responsabilidade compartilhada	Compromisso compartilhado com a ação, a transparência e a prestação de contas fomentarão colaborações e parcerias, que por sua vez vão reforçar a capacidade, alavancar conhecimentos e recursos e institucionalizar a reutilização de água em nosso portfólio de recursos hídricos.
10	Comunicar eficazmente	Comprometer-se a fornecer atualizações regulares sobre o progresso da ação, potenciais novas ações, alterações quanto às ações ou aos colaboradores e outros desenvolvimentos relacionados à implantação do WRAP.
11	Aplicar a gestão e a governação adaptativas	Aplicar princípios sólidos de gestão integrada e adaptativa que facilitem a evolução efetiva da implantação do WRAP, incluindo a consideração contínua de modelos de governança que melhorem as contribuições de muitos colaboradores.

Fonte: Adaptado de EPA (2020).

O Plano de Ação Nacional foi organizado em torno de 11 iniciativas estratégicas, conforme apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 – Elementos-chave para a descrição das ações

Nº	Iniciativas estratégicas	Descrição
1	Ação integrada da bacia hidrográfica	Permitir a consideração de reutilização da água com ação integrada e colaborativa na escala da bacia hidrográfica.
2	Coordenação das políticas	Coordenar e integrar autoridades federais, programas e políticas de reúso de água estaduais, tribais e locais.
3	Ciência e especificações	Compilar e aperfeiçoar as especificações adequadas.
4	Desenvolvimento e validação da tecnologia	Promover desenvolvimento, implantação e validação de tecnologia.
5	Disponibilidade de informações sobre a água	Melhorar a disponibilidade de informações sobre a água (qualidade e quantidade).
6	Apoio financeiro	Facilitar o apoio financeiro para o reúso de água.
7	Investigação integrada	Integrar e coordenar a investigação sobre a reutilização da água.
8	Sensibilização e comunicação	Melhorar a sensibilização e a comunicação sobre a reutilização da água.
9	Desenvolvimento da força de trabalho	Apoiar um talento e uma força de trabalho dinâmicos.
10	Métricas para o sucesso	Considerar métricas de reutilização de água que apoiem os objetivos e meçam o progresso.
11	Colaboração internacional	Construir sobre as experiências de parceiros internacionais.

Fonte: adaptado de EPA (2020).

As iniciativas voltadas ao planejamento do reúso de água observadas neste tópico, em diferentes continentes e países, evidenciam a importância do envolvimento das partes interessadas nos processos de desenvolvimento. Aspectos como a comunicação e a transparência na informação sobre os riscos associados ao reúso são fundamentais e influenciam na aceitação deste, sendo necessária também a observância de tais fatores na construção do planejamento.

2.8 METODOLOGIAS DA ANÁLISE DE CENÁRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUA

Como mencionado anteriormente, uma etapa importante e base para o desenvolvimento de um planejamento voltado ao reúso de água são a avaliação do cenário local e o envolvimento das partes interessadas.

A análise de cenários ajuda no direcionamento e na precisão do planejamento estratégico através de uma averiguação dos ambientes que envolvem o negócio e orienta a criação ou a adaptação de estratégias, ou planos de ação,

para minimizar os riscos e maximizar as oportunidades e as chances de sucesso do negócio.

Entre as metodologias mais utilizadas para a avaliação de cenários no campo da administração e do planejamento estão as análises SWOT, PESTLE e Porter, sendo que algumas destas já foram empregadas com sucesso por Mainali *et al.* (2011), Pérez e Berbel (2020), Winker *et al.* (2020), SUWANU EUROPE (2021b), Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) e Canaj e Mehmeti (2024), em estudos relacionados ao planejamento para o reúso de água em outros países; contudo, no Brasil a sua aplicação ainda não foi verificada.

2.8.1 Análise SWOT

A análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), traduzida como análise FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças), é uma metodologia utilizada para a avaliação de cenários, servindo como norteadora para o planejamento estratégico. Foi aplicada pela primeira vez na década de 1960, como base importante para aprender sobre a situação e para projetar procedimentos futuros que podem ser vistos como necessários para pensar de forma estratégica (Learned *et al.*, 1982).

Na metodologia SWOT, uma matriz é realizada em três etapas: inicialmente, se analisa o ambiente interno (organização, projeto, região etc.) para identificar seus pontos fortes e fracos; em seguida, se averigua o ambiente externo, constatando oportunidades e ameaças; e, por fim, elabora-se a matriz de combinação, correlacionando as informações e definindo os pontos críticos (Lozano; Valles, 2007).

Segundo Nikolaou e Evangelinos (2010), no que diz respeito ao ambiente interno, os pontos fortes são as competências – aspectos ou características positivas que a organização possui e que favorecem o alcance dos seus objetivos. Logo, os pontos fracos são as deficiências – aspectos ou características negativas que se encontram presentes na organização e que podem prejudicar o alcance dos objetivos, devendo ser objeto de iniciativas e ações específicas para eliminá-los ou minimizá-los.

De acordo com Fernandes (2012), essa metodologia funciona relacionando as forças e fraquezas do ambiente interno (em que se tem parcial ou pleno controle),

com as oportunidades e ameaças do ambiente externo (em que não se pode controlar suas variações). A matriz SWOT é representada pela Figura 11.

Figura 11 – Representação da matriz SWOT



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.8.2 Análise PESTLE

Para Rastogi e Trivedi (2016), a análise PESTLE (*Political, Economic, Socio-Cultural, Technological, Environmental and Legal*), traduzida como “Político, Econômico, Social, Tecnológico, Ambiental e Legal”, é uma metodologia que avalia a influência e a relação de tais aspectos externos citados com um determinado negócio, projeto ou empreendimento.

A análise da PESTLE é uma ferramenta para analisar tendências, usado para identificar o quadro geral e o estado do ambiente em que um objeto desenvolve, e pode ser útil no estudo de fatores que influenciam o desenvolvimento do território. Não requer recursos significativos e, como modelo conceitual, é uma ferramenta de pesquisa para explorar e analisar o ambiente regional que é objeto de planejamento estratégico. Sua metodologia permite que seja implementada através de uma variedade de métodos de análise qualitativa que se adaptam às especificidades da região (Vasileva, 2018).

Segundo Asano e Mills (1990), embora elementos técnicos, ambientais e sociais sejam considerados no planejamento de projetos, aspectos monetários tendem a ser cruciais para decidir sobre a implantação de um projeto para a

reutilização de água. As análises monetárias se dividem em duas categorias: econômica e financeira. Outros pontos de planejamento, como a engenharia e a saúde pública, são particularmente importantes no desenvolvimento de projetos de recuperação.

Esse conjunto gera um volume de informações relevantes para identificar oportunidades que estão no ambiente externo e que podem impactar o negócio. Além disso, as mesmas informações podem destacar problemas e ameaças ao negócio, que, se não identificadas e tratadas, significam riscos à sua implantação (Song; Sun; Jin, 2017).

Para a análise PESTLE, é necessário entender quais são os aspectos políticos, econômicos, sociais, tecnológicos, ambientais e legais que precisam ser considerados dentro do contexto do negócio em análise (Cadle *et al.*, 2010).

2.8.2.1 Aspectos políticos

Aspectos políticos impactam todo o negócio. Cada setor e cada tipo de negócio podem aproveitar de maneiras diferentes as oportunidades políticas que surgem, ao mesmo tempo que podem ser prejudicados por elas. Para avaliar os aspectos políticos da análise PESTLE, é necessário observar: o grau de intervenção do governo no setor, os regulamentos específicos criados para a área ou para o seu tipo de empresa, os impostos praticados, os projetos de lei que podem ser aproveitados ou que representam um problema, as facilidades e os programas governamentais de crescimento, a situação política atual, a proximidade de novas eleições, entre outros (Rastogi e Trivedi, 2016).

A análise pode gerar resultados sobre as situações políticas sobre se há estabilidade política que é favorável às organizações. Por outro lado, o clima político desfavorável, incluindo situações de guerra e a incerteza dos governos podem afetar negativamente a organização. Identificar oportunidades e lidar com ameaças no ambiente político pode beneficiar muito a organização (Buye, 2021).

2.8.2.2 Aspectos econômicos

A análise utilizando PESTLE gera dados sobre a situação econômica em termos de impostos, tarifas, taxas de juro, crescimento econômico, recessão, taxa

de inflação, taxa de câmbio, salário-mínimo, salários, desemprego, custo de vida, horas de trabalho, disponibilidade de crédito, disponibilidade de financiamento, nível de crescimento económico (Cadle *et al.*, 2010).

Ao fornecer resultados sobre a situação econômica e como ela pode afetar a organização, ajuda-a a responder adequadamente. Por exemplo, a recessão econômica pode afetar negativamente o desempenho e a existência contínua das organizações. Além disso, as taxas de juros afetam o custo do capital da empresa e, portanto, a medida em que uma organização se desenvolve e expande. Isso implica que as organizações, devem utilizar o PESTLE para analisar a situação econômica em seu ambiente, onde operam, de modo a entender se o atual ambiente econômico apresenta oportunidades ou pode representar ameaças (Buye, 2021).

2.8.2.3 Aspectos sociais

Segundo Rastogi e Trivedi (2016) entre os elementos que precisam ser considerados na avaliação sob a perspectiva social, estão: taxa de crescimento da população atendida pelo negócio, fatores culturais, estilos de vida em ascensão, novos comportamentos dos consumidores, novas necessidades de consumo, tendências do mercado, entre outros.

Na perspectiva social estão os valores, crenças, atitudes, opiniões e estilos de vida das partes interessadas. Crenças sociais, valores e estilos de vida influenciam os clientes. A análise dos fatores demográficos inclui o estudo da população humana em relação ao tamanho, distribuição geográfica, idade, níveis de educação e distribuição de renda. Ao gerar dados demográficos, ajuda as organizações a delimitarem seu mercado provável e a força de trabalho relevante (Vasileva, 2018; Buye, 2021).

2.8.2.4 Aspectos tecnológicos

Segundo Cadle *et al.*, 2010, a tecnologia mudou a forma de o usuário comprar e se relacionar com as empresas, e essas mudanças não param de acontecer. Além dos canais de contato com o usuário, a tecnologia alterou também a organização das empresas e o modo de executar processos. Entre essas modificações estão novidades de automação, *chatbots* e inteligência artificial. Dos aspectos que funcionam como exemplos da análise PESTLE, destacam-se: novas ferramentas que surgem no setor, taxa de obsolescência, nível de inovação, tecnologias que precisam ser implantadas, aparecimento de novidades que transformam a maneira de executar processos, nível de tecnologia presente no setor e adoção de tecnologia pela concorrência.

As mudanças identificadas no ambiente tecnológico podem apresentar oportunidades ou ameaças para a organização. Muitas organizações usam tecnologia como internet e tecnologias de telecomunicações para melhorar a eficiência e eficácia, porque interagem facilmente com clientes e fornecedores. A análise sob a perspectiva tecnológica permite que as organizações atualizem sua própria tecnologia, pois ela pode se tornar obsoleta (Buye, 2021).

2.8.2.5 Aspectos ambientais

A preocupação ambiental torna-se cada vez uma necessidade maior para empresas de todos os portes e setores. Parte dos consumidores se preocupa e prefere consumir produtos de empresas ambientalmente responsáveis. Entre os elementos de mercado que devem estar em seu radar para a análise PESTLE estão: nova regulamentação ambiental e ecológica, critérios de sustentabilidade seguidos pelo mercado, comportamento dos consumidores em busca por produtos “verdes”, entre outros (Vasileva, 2018).

Segundo Buye (2021), a análise sob a perspectiva ambiental, também inclui a natureza, o ambiente físico, outros recursos naturais e o espaço físico em que a organização está inserida. PESTLE analisa o ambiente natural para gerar informações sobre poluição, matérias-primas e regulamentos governamentais sobre a proteção dos recursos naturais. A poluição gerada pela organização ou outros pode afetar negativamente sua operação e reputação, especialmente se suas

operações danificam o meio ambiente. Daí a importância de gerar dados utilizando PESTLE sobre políticas de proteção ambiental, poluição, gestão de resíduos entre outros.

2.8.2.6 Aspectos legais

Trata dos aspectos legais que regularizam o segmento da empresa ou do negócio em todo o mercado. É importante avaliar, por exemplo, a existência de algum tipo de lei que pode influenciar no crescimento da empresa ou do negócio, as mudanças de tributação, as alterações nas leis trabalhistas, as regras da lei do consumidor. O objetivo é encontrar o que pode ser uma ameaça ou uma oportunidade para a sua gestão e para o desenvolvimento da organização ou do negócio (Rastogi e Trivedi, 2016).

A partir da análise dos aspectos citados, são identificadas as potenciais oportunidades e ameaças que o ambiente externo apresenta para o negócio e que orientam o estabelecimento de iniciativas e ações para aproveitar melhor as oportunidades, assim como reduzir o impacto das ameaças (Buye, 2021).

2.8.3 Utilização das análises SWOT e PESTLE para o reúso de água

A combinação das análises SWOT/PESTLE foi utilizada no Projeto SUWANU EUROPE (2021b), na União Europeia, como parte do planejamento do reúso de água agrícola em regiões de oito países. Foram mapeados diferentes aspectos em cada região e classificados em três categorias: relacionados ao mercado; relacionados ao produto; e social e governança. Pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças foram identificados junto a um grupo de *stakeholders* selecionados. A avaliação da relevância de cada aspecto foi obtida com a utilização de um questionário eletrônico aplicado a um conjunto de especialistas. Como resultado da análise PESTLE para a região do Alentejo, aspectos econômicos receberam maior relevância, especificamente em relação aos custos de produção, distribuição e exploração. Também a demanda por altos investimentos em infraestruturas de reservação e tratamento foram consideradas relevantes por todos os especialistas.

Nos aspectos políticos, os mais relevantes estavam associados à falta de legislação e à resistência aos projetos de licenciamento para a reutilização de água.

Quanto aos aspectos sociais, a preocupação com a escassez e o uso de fontes alternativas foram os mais visados, mas igualmente apontou-se a relutância ainda existente nos consumidores quanto à aceitação e à confiança em alimentos irrigados com água de reúso. O Quadro 21 apresenta os resultados da análise SWOT/PESTLE.

Segundo Pérez e Berbel (2020), os resultados do projeto indicaram que a regulamentação a ser estabelecida pela União Europeia deveria centrar-se nos problemas do elevado custo percebido da água de reúso para os agricultores e na percepção dos consumidores quanto ao risco sanitário para as culturas irrigadas; de acordo com os autores, esses são os pontos críticos para promover o uso de água de reúso na agricultura.

Quadro 21 – Resultado da análise SWOT/PESTLE no Projeto SUWANU EUROPE

SWOT/PESTEL	PONTOS FORTES	PORTOS FRACOS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
ASPECTOS POLÍTICOS	Existência de regulamentos nacionais ou europeus que estabeleçam requisitos claros sobre a qualidade das águas residuais tratadas	Resistência no licenciamento de projetos de reúso de água pelos riscos ambientais	- Possível influência positiva da legislação nacional e estratégias europeias "Zero Resíduos" e "Economia Circular"; - Existência de normas para o uso de águas residuais tratadas na agricultura	- Insuficiência e contradição do sistema legislativo e normativo - Falta de vontade de empreender as reformas necessárias de tratamento de água - Possível priorização de cidades ou indústrias como objeto de uso de águas residuais
ASPECTOS ECONÔMICOS	Não identificado	- Altos custos de produção, distribuição e operação - Fraca sustentabilidade financeira (dificuldade na determinação do custo da água reutilizada, custos de transporte e armazenamento, etc.) - Altos investimentos em infraestruturas de armazenamento e tratamento - Consumo de energia necessário para tratar a água - Bombeamento e transporte dos tratados águas residuais (ETAR) ao seu destino - Número reduzido e tamanho pequeno de infra-estruturas - Existência de uma atitude negativa dos distribuidores de alimentos não comercializarem produtos irrigados com águas residuais tratadas	- Aumento do custo de outras águas convencionais fontes - A distribuição de custos no tratamento de águas residuais tratadas entre irrigadores e Operadores de ETAR - Abordar a reutilização de águas residuais como um serviço ambiental para a agricultura - Estratégias crescentes para a promoção da fontes de água não convencionais - Promover o uso de águas residuais tratadas pelo União Europeia	- Preço não competitivo em comparação com tarifas de água correntes para irrigação - Falta de apoio financeiro - Custo do tratamento de água para uso agrícola - Baixa rentabilidade de muitos produtos agrícolas para o uso de águas residuais tratadas - Uso de águas residuais tratadas como desculpa em disputas comerciais - Falta de aceitação de produtos irrigado com águas residuais tratadas por distribuidores
ASPECTOS SOCIAIS	- A percepção de que o uso de águas residuais tratadas é seguro para a produção de alimentos e qualidade - Existência de programas de informação dos promotores de projetos, com o objetivo de melhorar a percepção da utilização das águas residuais tratadas, com o apoio das autoridades de saúde pública	- Rejeição natural de produtos agrícolas - Contaminação da cadeia alimentar - Exposição dos agricultores a riscos para a saúde	- Aceitação dos agricultores no uso de WW recuperado para irrigação - Preocupação social com a escassez de água e busca de alternativas - Existência de áreas turísticas perto de plantações - Proximidade de culturas de campo para centros populacionais	- Relutância na aceitação pública e falta de confiança dos consumidores
ASPECTOS TECNOLÓGICOS	- Iniciativas europeias já concluídas ou em curso (experiência no setor) - Foco na aquisição de novos conhecimento (workshops, formação) - Contribuição de nutrientes das águas residuais tratadas para as culturas	- Falta de disseminação de científico e tecnológico conhecimento e da saúde e impactos ambientais - Aspectos agronômicos (incompatibilidade com algumas culturas) - Desconhecimento e desinformação em a utilização destes recursos	- Recuperação de nutrientes presentes no tratamento águas residuais - Implementação de novos e melhorados tecnologias de tratamento - Uso de águas residuais tratadas para orgânicos agricultura - Viabilizar a expansão de alguns projetos fortemente dependente da disponibilidade de água - Acesso a informações e estudos sobre águas residuais tratadas em culturas	- Segurança alimentar (requisito para regular análise e monitoramento, etc.) - Impacto na produtividade do solo e na cultura rendimentos e falta de conhecimento - Falta de infraestruturas de transporte e armazenamento

Fonte: Adaptado de SUWANU EUROPE (2021a, p. 8-10).

Mainali *et al.* (2011) utilizaram a análise SWOT para auxiliar na identificação dos aspectos críticos para a implantação bem-sucedida da reutilização de água em vários países do mundo em 20 anos. Observaram que determinados projetos de reúso de água não foram exitosos devido à falta de confiança da comunidade no projeto. Alguns dos projetos controversos de reutilização de água, encontrados na Europa, na Austrália e nos EUA – por exemplo, San Diego (EUA), Toowoomba (Austrália) e NEWater (Singapura) –, foram por esse motivo estudados. O Quadro 22 apresenta a análise SWOT do caso de San Diego (EUA).

Constatou-se nos três estudos de caso que a viabilidade de um sistema de reúso de água depende de aspectos sociais, econômicos e técnicos. Assim, os fatores críticos a serem considerados para uma aplicação bem-sucedida dos projetos de reutilização de água seriam: i) *marketing* social e divulgação pública adequados na fase inicial; ii) aspectos políticos favoráveis ao projeto; iii) disponibilidade de recursos financeiros por parte do governo e dos diferentes interessados; iv) nível de estresse hídrico; v) sensibilização do público para o potencial do regime de reutilização e para a disponibilidade de outros recursos hídricos alternativos; vi) confiança e crença do público em geral na reutilização da água; vii) variedade de opções de usuários finais disponíveis para a água reciclada; e viii) tecnologia avançada utilizada para produzir a água adequada à finalidade e às propriedades geográficas da bacia hidrográfica.

Quadro 22 – Resultado da análise SWOT do caso de San Diego (EUA)

(continua)

Pontos fortes	<ul style="list-style-type: none"> • Imensa necessidade de fonte local de abastecimento de água. • Apoio aos profissionais da água, acadêmicos e pesquisadores.
Pontos fracos	<ul style="list-style-type: none"> • A percepção sobre a incapacidade de abastecimento de forma segura. • Explicação compreensível do sistema de tratamento e da qualidade da água para o público em geral estava atrasada. • Os programas de educação pública e extensão começam somente após a concepção do projeto, mas não desde o início. • A liderança do projeto mudou para o departamento de efluentes de San Diego durante a fase de projeto. • Existem grandes lacunas de comunicação entre a organização de reúso de água e as principais partes interessadas. • <i>Marketing</i> social inadequado do produto.

Quadro 22 – Resultado da análise SWOT do caso de San Diego (EUA)
(conclusão)

Oportunidades	<ul style="list-style-type: none"> • Boa possibilidade de introduzir água reciclada como fonte alternativa.
Ameaças	<ul style="list-style-type: none"> • Não enfatizar os recursos hídricos alternativos para a comunidade. • Desconfiar da qualidade da água e ter preocupações com questões de saúde. • Criar-se uma atmosfera de desconfiança. • As pessoas perceberam a mudança de objetivo do projeto com a atmosfera de desconfiança. • A lacuna de comunicação é normalmente usada pelos oponentes para construir uma parede. • Menor reconhecimento do público.

Fonte: Adaptado de Mainali *et al.* (2011, p. 304)

Na Alemanha, Winker *et al.* (2020) pesquisaram a aplicabilidade do reúso de água para hidroponia. Depois de uma instalação-piloto, foram realizadas entrevistas com peritos e estudos de viabilidade com base na avaliação de impacto e no diálogo com as partes interessadas. Para a análise do cenário atual, foi empregada a metodologia SWOT – que constata vantagens, desvantagens, publicações especializadas e protocolos envolvidos –, bem como organizadas reuniões com partes interessadas. A pesquisa foi desenvolvida em seis etapas:

1. Estabelecimento de uma planta-piloto para investigar a interação entre o tratamento de efluentes e a planta de produção.
2. Entrevistas com especialistas para adquirir uma compreensão do quadro institucional vigente.
3. Estudos de viabilidade para o conhecimento do conceito de adaptabilidade.
4. Avaliação de impacto para entender nichos potenciais para o conceito.
5. Diálogo com as partes interessadas para *feedback* adicional e orientação.
6. Análise do cenário atual através da ferramenta SWOT.

Após mapeamento dos pontos fortes e dos pontos fracos, das oportunidades e das ameaças, revelou-se que a água de reúso na hidroponia demonstrou potencial de aplicação na Alemanha, não para o país todo, mas como uma alternativa interessante para locais que atendam às condições adequadas. Um resumo dos

resultados é apresentado no Quadro 23, que mostra os tópicos identificados durante a análise SWOT.

Quadro 23 – Resultado da análise SWOT para uma aplicação do reúso de água em hidroponia na Alemanha

Enquadramento analítico	Desejável Pontos fortes		Indesejável Pontos fracos	
	Material	Não material	Material	Não material
	Aspectos internos controláveis	<p>Tratamento de água:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Qualidade da água. - Recuperação de fósforo. - Resíduos farmacêuticos, metais pesados, patógenos. - Tecnologia de medição e controle. <p>Produção vegetal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Configuração do sistema. - Abordagem do sistema. - Produção independente do clima. <p>Ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de produção fechado. - Qualidade da água de descarga. 	<p>Economia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rentabilidade. - Economia circular. <p>Atores e instituições:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formas de cooperação. - Abastecimento de água seguro. 	<p>Tratamento de água:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contaminação. - Salinidade. - Resíduos farmacêuticos, metais pesados, patógenos. - Qualidade dos efluentes tratados. <p>Produção vegetal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de controle. - Fornecimento de nutrientes. <p>Ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conversão de terras.
Aspectos externos incontroláveis	Oportunidades		Ameaças	
	Material	Não material	Material	Não material
	<p>Tratamento de água:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proteção dos recursos hídricos. - Qualidade dos efluentes tratados. <p>Produção vegetal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produção alimentar regional. - Escassez de água. - Utilização de inteligência artificial. <p>Ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terras utilizáveis. 	<p>Operação e gestão:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento. <p>Economia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rendimento e emprego. - Concorrência em matéria de recursos. - Eficiência. <p>Atores e instituições:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experiência. - Produção alimentar regional. - Vontade política. 	<p>Ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Qualidade da água de descarga. 	<p>Operação e gestão:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Setor da horticultura existente. - Experiência de <i>marketing</i>. <p>Economia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Concorrência de mercado. - Ponto de entrada no mercado. <p>Atores e instituições:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reação dos meios de comunicação social. - Licenças. - Certificações. <p>Valores e padrões:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aceitação pública.

Fonte: Adaptado de Winker *et al.* (2020)

Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) empregaram a combinação da análise SWOT e da matriz QSPM para avaliar a utilização, para fins agrícolas, do efluente tratado na estação de tratamento da cidade de Sabzevar, no Irã. Como resultado da análise, foi verificado que o efluente tratado atende aos limites permitidos pela legislação, com potencial para ser usado na irrigação de plantas forrageiras não consumidas diretamente e no paisagismo urbano.

O Quadro 24 apresenta o resultado da análise SWOT com pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças da utilização dos efluentes tratados da estação de tratamento de Sabzevar. A partir da análise dos aspectos internos e externos, foram estabelecidas diretrizes estratégicas para o reúso de água oriunda da estação iraniana.

Quadro 24 – Resultado da análise SWOT/PESTLE em Sabzevar
(continua)

Pontos fortes	Pontos fracos
<p>S1 – Efluente é eficaz para a agricultura e a fertilidade do solo devido à presença de minerais e nutrientes.</p> <p>S2 – Localizado em uma condição topográfica adequada, próximo às terras agrícolas de aldeias vizinhas.</p> <p>S3 – Potencial da área para receber e atrair investidores para o consumo de água de reúso.</p> <p>S4 – Efluente tratado pode ser usado na agricultura devido à qualidade.</p> <p>S5 – Efluente reduz muito a necessidade de produtos químicos fertilizantes devido à presença de vários nutrientes.</p> <p>S6 – Topografia da área permite a transferência por gravidade de efluente tratado para as áreas de consumo.</p> <p>S7 – Terrenos existentes e espaços verdes urbanos adequados para o reúso de água.</p> <p>S8 – Efluente tratado como fonte permanente de água explorável mesmo em tempos de seca.</p> <p>S9 – Incentivo aos agricultores para uso dos efluentes tratados devido ao preço e à qualidade razoáveis.</p> <p>S10 – Rotas existentes adequadas para distribuir os efluentes tratados para o ponto de consumo (agricultura e espaço verde).</p>	<p>W1 – Limitação das condições das terras agrícolas e do espaço verde em termos de parâmetros químicos.</p> <p>W2 – Questões religiosas e jurisprudenciais para o uso de águas de reúso.</p> <p>W3 – Plantas cultivadas com efluente tratado têm menor aceitação.</p> <p>W4 – Parecer sobre a utilização de águas de reúso nos termos de condições insalubres.</p> <p>W5 – Efeitos psicológicos adversos sobre uso de águas de reúso.</p> <p>W6 – Falta de instalações e condições para a distribuição da água de reúso na área do estudo.</p> <p>W7 – Infiltração de efluentes tratados em aquíferos usados para abastecimento humano.</p> <p>W8 – Doença de plantas e produtos agrícolas irrigados com efluente tratado em longo prazo.</p> <p>W9 – Impactos ambientais decorrentes da aplicação da água de reúso.</p> <p>W10 – Existência de parâmetros químicos no efluente tratado, como salinidade, elementos tóxicos etc.</p>

Quadro 24 – Resultado da análise SWOT/PESTLE em Sabzevar
(conclusão)

Oportunidades	Ameaças
<p>O1 – Criação de condições ideais para o aproveitamento da água de reúso.</p> <p>O2 – Empreendedorismo e aumento da área de cultivo.</p> <p>O3 – Migração reversa devido à fonte de água não convencional e à agricultura.</p> <p>O4 – Desenvolvimento de aldeias e povoadamentos de jovens e prevenção da migração de residentes de aldeias arredores.</p> <p>O5 – Uso de efluentes tratados em industriais.</p> <p>O6 – Utilização de efluentes tratados na aquicultura.</p> <p>O7 – Promoção do uso de água não convencional, tais como águas de reúso, pela população local.</p> <p>O8 – Apoio de departamentos governamentais relevantes aos planos de reúso de água nos setores agrícola e industrial.</p> <p>O9 – Utilização de efluentes tratados para recarga de aquífero.</p> <p>O10 – Devido à presença de desertos, o uso de efluentes no controle da desertificação e para plantio de pastagem.</p>	<p>T1 – Falta de coordenação entre diferentes organizações para o reúso de água.</p> <p>T2 – Possíveis problemas ambientais em caso de tratamento inadequado dos efluentes tratados.</p> <p>T3 – Problemas com a distribuição da água de reúso para a área de consumo.</p> <p>T4 – Problemas com os sistemas de irrigação que aplicam a água de reúso.</p> <p>T5 – Risco à saúde dos agricultores.</p> <p>T6 – Falta de especialização sobre o reúso de águas.</p> <p>T7 – Estudos científicos limitados sobre o reúso de água.</p> <p>T8 – Falta de meios para o transporte da água de reúso para aldeias vizinhas.</p> <p>T9 – Falta de infraestrutura adequada para a utilização de água de reúso em setores como a aquicultura.</p> <p>T10 – Aquisição de terras nos locais de instalação de canal de transporte da água de reúso para as aldeias.</p>

Fonte: Adaptado de Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022).

Canaj e Mehmeti (2024) utilizaram a análise SWOT para avaliar as oportunidades e ameaças do reúso de água para fins agrícolas na região da Apúlia (sul da Itália) e fazer uma comparação com os resultados obtidos no projeto SUWANU EUROPE.

Diante dos resultados obtidos, a região da Apúlia apresentou um bom desempenho em termos de pontos fortes e oportunidades. Um dos pontos fortes mais relevantes foi a disponibilidade de água, mesmo durante períodos de seca. Preocupações sobre a escassez de água e as alterações climáticas foram consideradas importantes na França, na Itália e em Portugal, mas há pouco interesse na água recuperada na Alemanha, onde não há escassez. As áreas atingidas pela seca são mais prováveis de dar suporte à água recuperada.

O custo da água recuperada foi verificado como um fator notável para outros países em termos de oportunidades. Bulgária, França, Grécia e Portugal têm deficiências legislativas significativas. Em termos de ameaças, o custo de tratamento de águas residuais recuperadas e o alto gasto com o transporte da estação de tratamento para as culturas irrigadas são as mais relevantes na Espanha e em Portugal e têm impacto em países como a Bélgica e a Grécia, onde os aspectos sociais e relacionados com os produtos são mais levados em conta. Os elementos mais marcantes da Apúlia são assuntos associados com os produtos, as questões sociais e de governança e, em menor grau, com o mercado.

Como acima apresentado, a metodologia SWOT já vem sendo utilizada em análise de projetos de saneamento e propriamente para o reúso de água em outros países. Associada à SWOT, a metodologia PESTLE também tem sido adotada oferecendo uma visão ampla dos contextos técnico, políticos, econômicos, social, tecnológico e ambientais e no impacto do projeto em aspectos-chave e que possibilitam uma melhor análise de cenário.

2.9 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi abordado o panorama da aplicação do reúso de água e os aspectos legais e regulatórios no mundo, no Brasil e em Santa Catarina. Pode-se observar o elevado nível de desenvolvimento já com um arcabouço regulatório bem estabelecido e a larga aplicação da água de reúso nos Estados Unidos e em países da Europa.

Experiências, pesquisas e estudos relacionados ao planejamento do reúso de água também foram abordados, e verificaram-se as etapas de desenvolvimento do planejamento do reúso, da mesma forma que as metodologias e ferramentas utilizadas, como a análise SWOT combinada com a PESTLE.

As metodologias SWOT e PESTLE podem ser aplicadas na ideação de cenários para o reúso de água, podendo permitir verificar como diferentes perspectivas podem influenciar o desenvolvimento e a implementação de práticas de reúso de água, ajudando a projetar cenários futuros mais sólidos e com mais conhecimento da região, mais informação.

A análise PESTLE permite avaliar os fatores macroambientais que podem impactar uma região, oferecendo uma visão sistêmica dos componentes Político, Econômico, Social, Tecnológico, Legal e Ecológico, que ao aplicá-la na ideação de cenários para o reúso de água identificar e compreender os fatores que influenciam a supervisão e a sustentabilidade de projetos relacionados a implementação de práticas de reúso de água. Componentes da Análise PESTLE:

- **Político:** Examina o papel das políticas governamentais e o ambiente político que pode influenciar a implementação do reúso de água. Influência governamental, identificando Políticas de incentivo, subsídios e regulamentações que promovem ou dificultam o reúso de água.
- **Econômico:** Considera fatores econômicos, como crescimento econômico, custos e benefícios financeiros, e incentivos econômicos para o reúso de água.
- **Social:** Envolve o comportamento, atitudes e aceitação da sociedade em relação ao reúso de água. Com esse componente pode-se verificar a aceitação pública, o nível de conscientização e aceitação da população em relação ao uso de água reutilizada para fins não potáveis.
- **Tecnológico:** Avalia os avanços tecnológicos e o impacto da inovação nas soluções de reúso de água. Permite verificar a o desenvolvimento de novas tecnologias mais eficientes, econômicas e seguras para o tratamento e reúso de água não potável.
- **Legal:** Refere-se à regulamentação e às leis que podem apoiar ou restringir o reúso de água. Regulamentação: Leis e regulamentos específicos sobre o reúso de água, como padrões de qualidade, segurança sanitária, e restrições ao uso de água não potável.
- **Ambiental:** Analisa as questões ambientais e de sustentabilidade que tornam o reúso de água necessário ou que podem afetar sua adoção. Com esse componente pode-se verificar a escassez de recursos hídricos, crise hídrica e as mudanças climáticas que afetam a disponibilidade de água potável podem impulsionar o reúso de água como solução viável.

Com a análise PESTLE, pode-se criar diferentes cenários baseados na interação entre seus componentes, que ao serem combinadas com a análise SWOT pode-se identificar para projetar futuros possíveis para o reúso de água, auxiliando no desenvolvimento de uma compreensão mais clara sobre as condições internas e externas que afetam a implementação e a eficiência do reúso de água em diversos âmbitos regionais, como:

- **Forças:** Fatores internos que favorecem o sucesso do reúso de água.
- **Fraquezas:** Fatores internos que dificultam ou limitam o sucesso do reúso de água.
- **Oportunidades:** Fatores externos que podem impulsionar ou facilitar a adoção do reúso de água.
- **Ameaças:** Fatores externos que podem prejudicar ou impedir a adoção e o sucesso do reúso de água.

Já a análise SWOT fornece uma visão estratégica que ajuda a identificar como os diferentes fatores internos e externos afetam o reúso de água, permitindo planejar ações para maximizar as oportunidades, fortalecer as forças e mitigar as fraquezas e ameaças.

No próximo capítulo, serão apresentados os procedimentos metodológicos que nortearam o desenvolvimento da pesquisa no alcance dos seus objetivos.

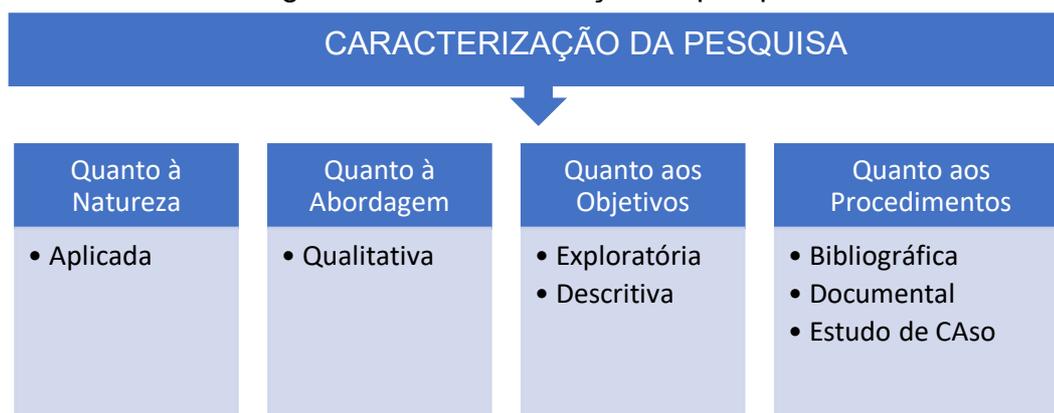
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos que guiaram esta pesquisa, a caracterização da pesquisa e o detalhamento de cada etapa do Plano de Execução Sistemático da Pesquisa (PESP).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Para o alcance dos objetivos, se propõe o desenvolvimento de uma pesquisa aplicada, qualitativa, exploratória, descritiva, bibliográfica, documental e estudo de caso. A caracterização da pesquisa pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 – Caracterização da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à natureza, a pesquisa é considerada aplicada por permitir a implantação de metodologia e ferramentas criadas em outras regiões com motivação para o reúso de água na região de estudo.

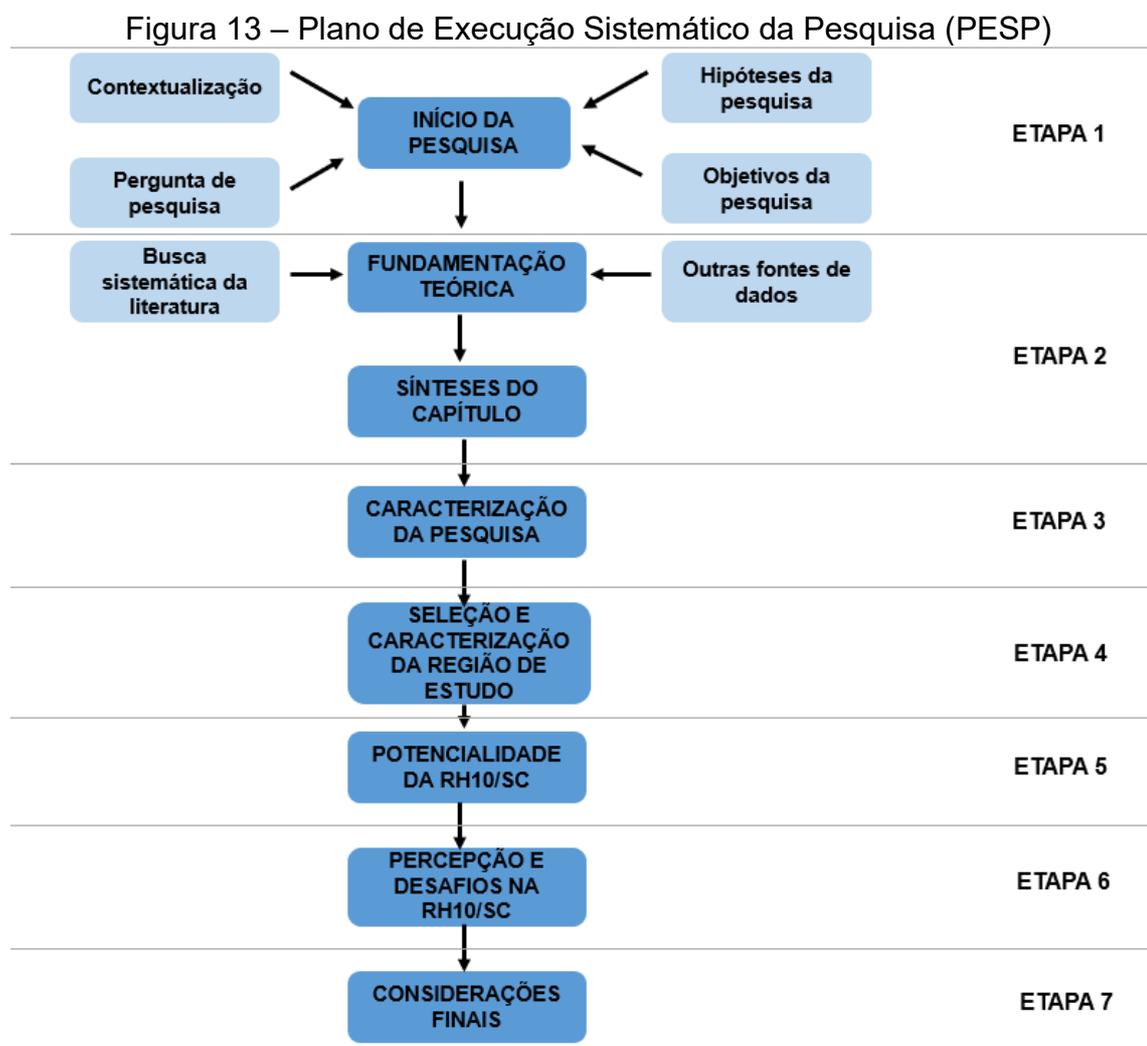
Classificada também como qualitativa por combinar abordagens qualitativas e quantitativas, ao utilizar tanto análise de dados numéricos quanto interpretação do fenômeno em estudo a partir de perspectivas subjetivas.

Quanto aos objetivos, se trata de uma pesquisa descritiva por buscar descrever as características do fenômeno estudado, verificando as potencialidades e desafios do reúso de água regional e exploratória por explorar um tema ainda pouco abordado, buscando novas perspectivas e hipótese com relação ao reúso de água.

Sobre os procedimentos, a pesquisa pode ser considerada bibliográfica e documental, uma vez que se utiliza de materiais já publicados sobre o tema em artigos, jornais e conteúdo de instituições públicas e privadas. Emprega também questionários para a obtenção de informações e contribuições das partes interessadas e de especialistas.

3.2 PLANO DE EXECUÇÃO SISTEMÁTICO DA PESQUISA (PESP)

Assim, inicialmente, apresenta-se o Plano de Execução Sistemático da Pesquisa (PESP), que tem por objetivo descrever as etapas do caminho a ser percorrido no desenvolvimento da pesquisa (Figura 13).



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, há o desenvolvimento de cada etapa do PESP.

3.2.1 Início da pesquisa

A pesquisa se iniciou com a contextualização, Etapa 1, culminando na definição do problema de pesquisa, as hipóteses e os objetivos, e a fim de compreender a relevância do tema.

3.2.2 Fundamentação teórica

A coleta de dados para formar a fundamentação teórica desta tese, realizada na Etapa 2 da pesquisa, se inicia com a revisão sistemática da literatura com a busca nos bancos de dados *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*, tendo com intuito estabelecer um arcabouço teórico para dar suporte a pesquisa, e a partir dela, construir novos conhecimentos científicos (Botelho; Cunha; Macedo, 2011). Dentre os tipos de revisões da literatura, temos a revisão bibliográfica sistemática, utilizada neste estudo, que se trata de uma revisão com estratégias para redução dos vieses do pesquisador na seleção dos artigos (Mendes; Silveira; Galvão, 2008; Botelho; Cunha; Macedo, 2011).

Outra etapa da coleta de dados teóricos consistiu na pesquisa em outras fontes de dados ao incorporar trabalhos relevantes que porventura não constaram nas bases de dados primárias (Tartuce, 2013). Estas buscas em outras fontes foram realizadas no banco de teses, dissertações, publicações de instituições nacionais e em livros físicos e digitais.

Após a formação do arcabouço teórico desta pesquisa, foi desenvolvida a síntese da literatura, que aborda os principais conhecimentos adquiridos e as ações relacionadas ao tema identificadas na literatura.

3.2.3 Caracterização da Pesquisa

A terceira etapa consistiu na caracterização da pesquisa, descrita na subseção 3.1. Para tal caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, qualitativa,

exploratória, descritiva, bibliográfica, documental e estudo de caso. Quanto aos objetivos, esta pesquisa é exploratória e descritiva.

3.2.4 Caracterização da Região de Estudo

A Etapa 4, apresentada no capítulo 4, consistiu em apresentar as informações e os fundamentos que justificam a seleção da região de estudo para o desenvolvimento desta pesquisa e a caracterização da região.

3.2.5 Potencialidade do reúso de água da RH10/SC

Apresentada no capítulo 5, consistiu na Etapa 5 do PESP, da análise da potencialidade da região para o reúso de água, que inclui a caracterização das Estações de Tratamento de Esgotos da região, a verificação da capacidade de produção de água de reúso a partir das ETE e a verificação da utilização da água de reúso como fontes alternativas as finalidades de consumo não potável de água.

3.2.6 Percepção e desafios na RH10/SC

A Etapa 6, apresentada no capítulo 6, consistiu na verificação da percepção e os desafios na RH10/SC para o reúso de água na visão das partes interessadas. Inicialmente foram identificados os aspectos com influência no reúso de água na região, foram também identificadas as instituições reconhecidas como partes interessadas para a aplicação de questionários a fim de avaliar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças na região sob as perspectivas políticas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais.

Nesta etapa foram aplicadas as análises SWOT e PESTLE na construção de cenários relacionados ao reúso de água na região RH10/SC.

3.2.7 Considerações Finais

Por fim, a sétima e última etapa dos procedimentos metodológicos, que trata da apresentação das considerações finais da tese, que contém, além de todo

delineamento da pesquisa, as conclusões encontradas, o nível de atingimento dos objetivos traçados e as recomendações para trabalhos futuros, apresentados no Capítulo 7.

4 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Neste capítulo, serão apresentados as informações e os fundamentos que justificam a seleção da região de estudo para o desenvolvimento desta pesquisa.

4.1 SELEÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Para o desenvolvimento da tese, foi selecionada uma região de estudo que contivesse fatores de indução para o reúso de água com base na pesquisa realizada e apresentada na fundamentação teórica, e no estado de Santa Catarina.

Nesse sentido, uma pesquisa foi realizada no contexto do estado a partir das informações disponíveis junto a entidade governamental que possui competência pela gestão dos recursos hídricos em Santa Catarina, a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável.

Foi identificado como fonte base o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/SC), elaborado em 2017 em vigor até a atualidade.

O PERH/SC apresenta quatro linhas gerais de ações em Santa Catarina: melhorar a qualidade da água, promover o uso racional da água, aumentar a resiliência frente aos eventos hidrológicos críticos e fortalecer a gestão dos recursos hídricos no Estado. O documento ainda traz informações sobre gestão, projetos, obras e investimentos prioritários para garantir a qualidade e a demanda hídrica no estado.

Com base nas informações do diagnóstico e prognóstico do Plano das dez regiões hidrográficas, foi então selecionada a região com a maior vulnerabilidade hídrica identificada. Assim, a Região Hidrográfica 10, localizada no extremo sul catarinense (RH10/SC) foi a selecionada para o desenvolvimento deste trabalho.

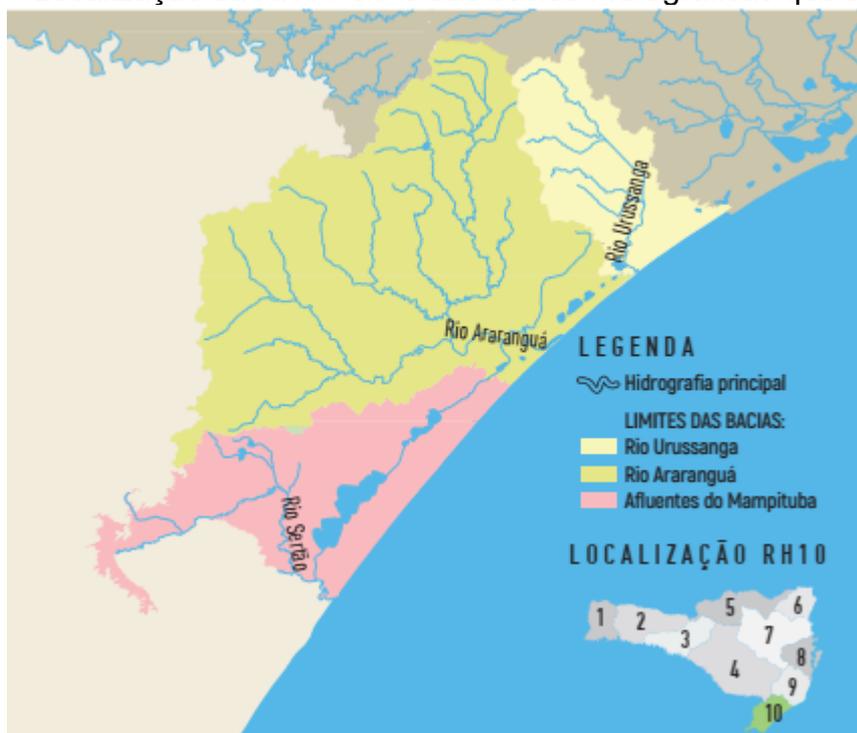
Informações sobre a caracterização da RH10/SC estão apresentadas no item a seguir.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A RH10/SC está localizada no extremo sul de Santa Catarina, abrangendo a área de três bacias hidrográficas: a Bacia Hidrográfica do Urussanga, a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá e a Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Rio

Mampituba. Possui uma área total de aproximadamente 4.992 km², englobando a área total ou parcial de 29 municípios e uma população de 677.030 habitantes (PERH/SC, 2017). A Figura 14 apresenta o mapa de localização da RH10/SC, bem como o limite das bacias hidrográficas que a compõem.

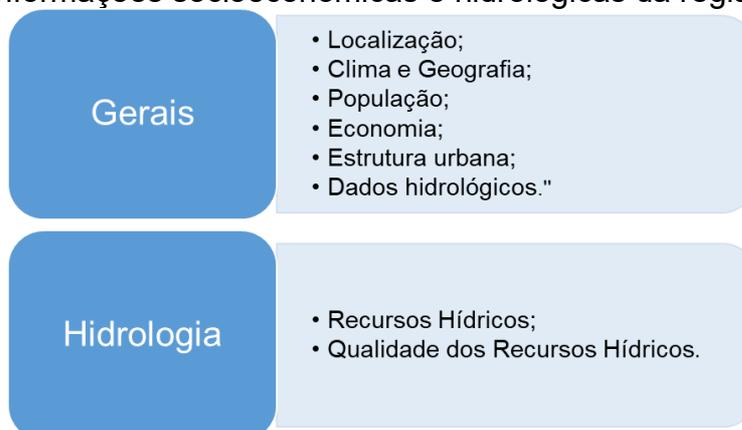
Figura 14 – Localização da RH10/SC e das bacias hidrográficas que a compõem



Fonte: PERH/SC (2017).

As características socioeconômicas e hidrológicas mais relevantes da região quanto à perspectiva do reúso de água estão apresentadas a seguir (Figura 15).

Figura 15 – Informações socioeconômicas e hidrológicas da região selecionada



Fonte: Elaborado pelo autor. com base nas informações adquiridas Plano Estadual de Recursos Hídricos (2017).

Além das características socioeconômicas e hidrológicas, acima apresentadas, a seguir serão apresentadas informações relacionadas aos recursos hídricos superficiais na RH10/SC.

4.2.1 Recursos hídricos superficiais

A Bacia do Rio Araranguá é a que ocupa a maior parte da RH10/SC, com aproximadamente 61,87% da área total, e abrange a área total ou parcial de 16 municípios. A Bacia dos Afluentes do Rio Mampituba corresponde a 24,51% da RH10/SC, enquanto a Bacia do Rio Urussanga se estende por cerca de 13,62% da área total da RH10/SC. A Tabela 5 apresenta o resumo das características hidrográficas das bacias que compõem a RH10/SC (PERH/SC, 2017).

Tabela 5 – Características hidrográficas dos principais rios da RH10/SC

Característica	Bacia hidrográfica		
	Rio Urussanga	Rio Araranguá	Afluentes do Rio Mampituba
Nome do rio principal	Urussanga	Araranguá	Mampituba
Comprimento do rio principal (km)	61	93	101
Comprimento total de cursos d'água (km)	1.158	5.397	1.402
Densidade de drenagem (km/km ²)	1,70	1,75	1,15
Classe	Divagante	Sinuoso	Muito sinuoso

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

Como verificado na Tabela 5, a bacia do Rio Araranguá é a que possui maior comprimento total de cursos d'água com mais de 5.000 km, sendo esta característica fortemente relacionada com a sua maior abrangência territorial na RH10/SC.

4.2.2 Clima

A temperatura média anual do ar apresenta um gradiente crescente no sentido oeste-leste na RH10/SC, com as maiores temperaturas observadas na porção leste (20° C em média), e as menores, na porção oeste (13° C), sendo o valor médio de 17° C para toda a RH10/SC. A precipitação total anual varia

especialmente entre 1.100 mm e 2.100 mm, com valor médio de 1.400 mm para toda a região hidrográfica, pouco inferior à precipitação média no Brasil, que é de 1.760 mm (PERH/SC, 2017).

4.2.3 Eventos de inundação e seca

De acordo com os dados disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (SNIRH, 2016), entre os anos de 2003 e 2015 foram observados 15 eventos de seca nos municípios que possuem sede na RH10/SC, sendo Balneário Gaivota o mais afetado, com dois eventos registrados no período.

Analisando os eventos de seca por bacia hidrográfica, a Bacia do Araranguá é a mais propensa à ocorrência desse tipo de ocorrência hidrológica extrema, com nove delas no período. Com relação às inundações, a Bacia do Rio Araranguá também é a que apresenta a maior frequência de ocorrência, com 82 eventos (61% do total) registrados entre 2003 e 2015. Já na Bacia dos Afluentes do Mampituba foram registrados 32 eventos (24% do total), e na Bacia do Rio Urussanga, 21 eventos (15%) durante o período analisado (PERH/SC, 2017).

Ainda, de acordo com os dados disponibilizados pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas em Desastres, da UFSC (CEPED/UFSC, 2013), que considera os documentos de decreto estadual ou municipal de situação de emergência para a compilação dos desastres naturais, entre os anos de 1991 e 2012 ocorreram 37 eventos de seca e 53 eventos de inundação na RH10/SC. A Tabela 6 apresenta um resumo de tais eventos na RH10/SC e nas bacias hidrográficas principais que a compõem.

Tabela 6 – Eventos de seca e inundação nas bacias hidrográficas da RH10/SC

Bacia hidrográfica	Número de eventos entre 2003 e 2015		Número de eventos entre 1991 e 2012	
	Secas	Inundações	Secas	Inundações
Rio Urussanga	1	21	3	4
Rio Araranguá	9	82	23	29
Afluentes do Rio Mampituba	5	32	11	20
Total RH10/SC	15	135	37	53

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017), SNIRH (2016) e CEPED/UFSC (2013).

Como verificado na Tabela 6, os registros de eventos de inundação historicamente têm apresentado maior recorrência em relação aos eventos de seca com destaque entre o período de 2003 e 2015 onde o total das ocorrências se mostrou bem maior que no período entre 1991 e 2012.

4.2.4 Caracterização da área da região RH10/SC

A RH10/SC abrange, total ou parcialmente, 29 municípios catarinenses. Desse total, 10 municípios estão inseridos, total ou parcialmente, na Bacia do Rio Urussanga, sendo que quatro possuem a sede municipal nessa bacia. Já a Bacia do Araranguá abrange a área, total ou parcial, de 17 municípios, sendo que 14 possuem sede municipal nessa bacia. Por fim, a Bacia dos Afluentes do Rio Mampituba abrange a área, total ou parcial, de dez municípios, sendo que sete possuem sede nessa bacia (PERH/SC, 2017).

A Tabela 7 apresenta um resumo dos municípios inseridos nas bacias que compõem a RH10/SC.

Tabela 7 – Abrangência municipal da RH10/SC e das bacias que a compõem
(continua)

Município	Área do município (km ²)	Área do município na Bacia do Rio Urussanga (%)	Área do município na Bacia do Rio Araranguá (%)	Área do município na Bacia dos Afluentes do Rio Mampituba (%)	Área do município na RH10/SC (%)
Araranguá	302,65	0	74,59	25,41	100
Balneário Arroio do Silva	95,23	0	17,03	82,97	100
Balneário Gaivota	145,71	0	0	100	100
Balneário Rincão	64,58	26,2	73,8	0	100
Cocal do Sul	71,12	100	0	0	100
Criciúma	235,66	19,58	80,42	0	100
Ermo	63,42	0	96,96	3,04	100
Forquilha	183,09	0	100	0	100
Içara	228,91	48	52	0	100
Jacinto Machado	431,17	0	84,78	15,22	100
Jaguaruna	326,35	33,05	0	0	33,05
Maracajá	62,45	0	100	0	100
Meleiro	186,99	0	100	0	100

Tabela 7 – Abrangência municipal da RH10/SC e das bacias que a compõem
(continua)

Município	Área do município (km ²)	Área do município na Bacia do Rio Urussanga (%)	Área do município na Bacia do Rio Araranguá (%)	Área do município na Bacia dos Afluentes do Rio Mampituba (%)	Área do município na RH10/SC (%)
Morro da Fumaça	83,11	100	0	0	100
Morro Grande	258,02	0	100	0	100
Nova Veneza	294,94	0	100	0	100
Passo de Torres	92,84	0	0	100	100
Pedras Grandes	159,31	13,9	0	0	13,9
Praia Grande	274,7	0	0	100,13	100,13
Sangão5	82,89	4,9	0	27,21	32,11
Santa Rosa do Sul	150,97	0	0	100	100
São João do Sul	181,53	0	0	100	100
Siderópolis	261,59	0	100	0	100
Sombrio	143,27	0	1,92	98,08	100
Timbé do Sul	329,87	0	100	0	100
Treviso	157,04	0	100	0	100
Treze de Maio	161,67	24,11	0	0	24,11
Turvo	235,42	0	100	0	100
Urussanga	254,83	46,26	4,46	14,79	65,5

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

Como verificado na Tabela 7, a Bacia do Araranguá é a bacia que abrange maior número de municípios, 17 municípios, também é a que abrange maior área territorial.

4.2.5 Demografia e dinâmica populacional

Segundo o Censo Demográfico brasileiro realizado no ano de 2010, a RH10/SC possuía uma população total de 537.167 habitantes, sendo 446.330 (83,09% do total) residentes em área urbana, e 90.837 (16,91% do total), em área rural.

Em janeiro de 2024, foram divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) resultados parciais do Censo produzido em 2022, sendo que para a RH10/SC a população divulgada foi de 677.030 habitantes (IBGE, 2022).

Entre os municípios abrangidos pela RH10/SC, Criciúma é o que apresenta o maior número de habitantes (214.493). Araranguá, por sua vez, tem o maior número de habitantes na área rural (10.784). A Tabela 8 faz um resumo da população residente na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem.

Tabela 8 – Resumo da população residente na RH10/SC relacionadas as bacias hidrográficas que a compõem

Bacia hidrográfica	Número de habitantes			Densidade demográfica (hab./km ²)
	Urbano	Rural	Total	
Rio Urussanga	91.880	14.547	106.426	113,66
Rio Araranguá	303.570	47.521	351.091	156,58
Afluentes do Rio Mampituba	50.880	28.770	79.650	65,09
Total RH10/SC	446.330	90.837	537.167	107,59

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

Como verificado na Tabela 8, a Bacia do Araranguá além de abranger maior número de municípios e área territorial, possui maior população residente e maior densidade demográfica, evidenciando a presença de municípios de maior porte e urbanização.

4.2.6 Atividades econômicas

O setor terciário é o mais importante na economia da RH10/SC. Os serviços correspondem a aproximadamente 37,6% do Produto Interno Bruto (PIB) da região hidrográfica, seguidos da indústria, com 26,4% (IBGE, 2016). Em relação às unidades locais dos setores secundários e terciários, destacam-se as atividades ligadas ao comércio, à indústria de transformação, à construção civil, ao alojamento e ao segmento agroindustrial (IBGE, 2016).

Com relação à produção agrícola, o principal produto cultivado em lavouras temporárias na região, em termos de área plantada, é o arroz, com um total de 74.344,53 hectares (IBGE, 2016). Já em relação às lavouras permanentes, sobressai-se a produção de banana, com 6.387,48 hectares (IBGE, 2016). As

Tabelas 9 e 10 resumem as áreas de lavouras temporárias e permanentes, respectivamente, segundo o tipo de produto cultivado na RH10/SC.

Tabela 9 – Resumo dos produtos agrícolas provenientes de lavouras temporárias, cultivados na RH10/SC e nas bacias que a compõem

Produto	Área cultivada em hectares			Total RH10/SC
	Rio Urussanga	Rio Araranguá	Afluentes do Rio Mampituba	
Alho	0,83	0,00	0,00	0,83
Arroz (em casca)	3.427,70	58.022,05	12.894,78	74.344,53
Batata-doce	16,39	19,61	0,00	36,00
Batata-inglesa	133,07	230,69	7,40	371,16
Cana-de-açúcar	174,19	168,83	25,41	368,43
Cebola	17,34	2,69	0,30	20,32
Feijão (em grão)	1.959,49	2.687,21	297,94	4.944,64
Fumo (em folha)	3.146,99	8.441,64	4.370,37	15.959,00
Mandioca	601,54	998,61	1.959,30	3.559,44
Melancia	112,21	25,70	24,70	162,61
Milho (em grão)	2.824,13	10.443,31	3.200,62	16.468,07
Soja (em grão)	78,00	102,00	0,00	180,00
Tomate	12,03	15,05	0,00	27,08

Fonte: Adaptado de SIDRA/IBGE (2016) e PERH/SC (2017).

Tabela 10 – Resumo dos produtos agrícolas provenientes de lavouras permanentes cultivados na RH10/SC e nas bacias que a compõem

Produto	Área cultivada em hectares			Total RH10/SC
	Rio Urussanga	Rio Araranguá	Afluentes do Rio Mampituba	
Banana (cacho)	222,63	4.021,62	2.143,23	6.387,48
Caqui	1,67	0,13	0,44	2,24
Laranja	19,73	100,48	22,19	142,40
Maçã	0,69	0,00	0,00	0,69
Maracujá	2,71	210,06	943,21	1.155,98
Palmito	0,00	5,00	0,00	5,00
Pera	0,28	0,00	0,00	0,28
Pêssego	34,29	2,05	6,80	43,14
Tangerina	3,14	8,86	0,00	12,00
Uva	74,46	6,71	10,94	92,12

Fonte: Adaptado de SIDRA/IBGE (2016) e PERH/SC (2017).

Em relação à aquicultura, segundo dados da Pesquisa Pecuária Municipal (2014), a RH10/SC produziu um total de 808.030 kg de produtos oriundos da aquicultura, nos quais se incluem as produções de peixes, camarões, ostras, vieiras e mexilhões. A Bacia do Rio Araranguá contribui com a maior parte da produção aquícola, representando 65,97% da produção da região. A Bacia do Rio Urussanga e a Bacia dos Afluentes do Rio Mampituba contribuem com, respectivamente, 18,59% e 15,44% da produção da RH10/SC. A Tabela 11 apresenta a produção aquícola na RH10/SC.

Tabela 11 – Resumo da produção aquícola na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem

Produção	Produção aquícola em kg			Total RH10/SC
	Rio Urussanga	Rio Araranguá	Afluentes do Rio Mampituba	
Produção aquícola (kg)	533.033	150.247	124.750	808.030

Fonte: Adaptado de SIDRA/IBGE (2016) e PERH/SC (2017).

Como verificado na Tabela 11, ainda que a Bacia do Rio Urussanga não seja a que apresenta maior abrangência na RH10/SC em relação ao número de municípios e área territorial, é a bacia que apresenta maior produção aquícola, sendo que essa atividade requer extensiva área para produção.

4.2.7 Caracterização da infraestrutura de saneamento

A infraestrutura e os indicadores sociais abordados neste item contemplam especificamente a caracterização dos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento do esgotamento sanitário na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem.

4.2.7.1 Abastecimento de água

Com relação ao abastecimento de água nos domicílios da RH10/SC, as formas predominantes são a rede pública de distribuição (75,46%), poços ou

nascentes nas propriedades (20,39%) e poços ou nascentes fora das propriedades (3,39%) (IBGE, 2010).

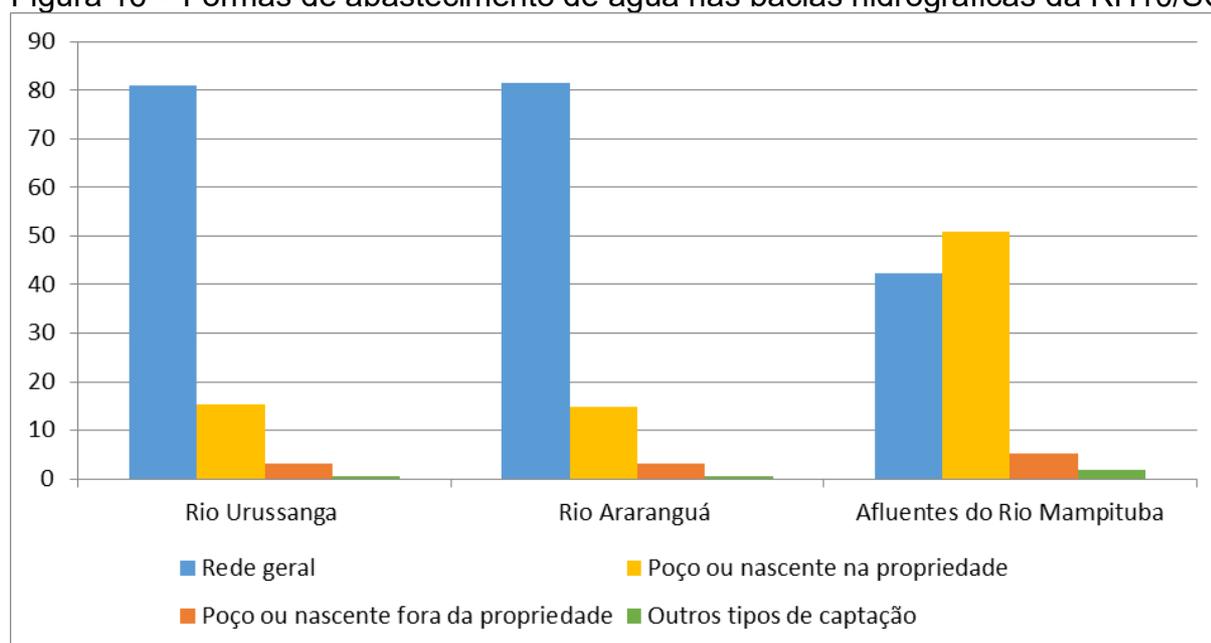
A Tabela 12 e a Figura 16 apresentam um resumo das formas de abastecimento de água nos domicílios da RH10/SC (PERH/SC, 2017).

Tabela 12 – Resumo das formas de abastecimento de água na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem

Tipo de abastecimento de água	% de domicílios			
	Rio Urussanga	Rio Araranguá	Afluentes do Rio Mampituba	Total RH10/SC
Rede geral	81,03	81,56	42,41	75,46
Poço ou nascente na propriedade	15,26	14,79	50,75	20,39
Poço ou nascente fora da propriedade	3,14	3,06	5,10	3,39
Outros tipos de captação	0,58	0,59	1,74	0,76

Fonte: e IBGE (2010) e PERH/SC (2017).

Figura 16 – Formas de abastecimento de água nas bacias hidrográficas da RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor, com base no PERH/SC (2017).

Além disso, são verificadas outras formas de abastecimento, como utilização de carro-pipa, captação de água da chuva e captação em rios, lagos ou igarapés, que representam menos de 1% dos domicílios.

4.2.7.2 Esgotamento sanitário

Com relação ao esgotamento sanitário, as formas predominantes utilizadas nos domicílios da RH10/SC são as fossas sépticas (59,34%) e as redes públicas de coleta de esgoto ou pluvial (37,36%). Além disso, são verificadas outras formas de esgotamento sanitário em cerca de 3,00% dos domicílios da RH10/SC, como a utilização de valas, esgotamento feito diretamente em rios, lagos e outros corpos d'água, tais quais outros tipos não identificados (IBGE, 2010).

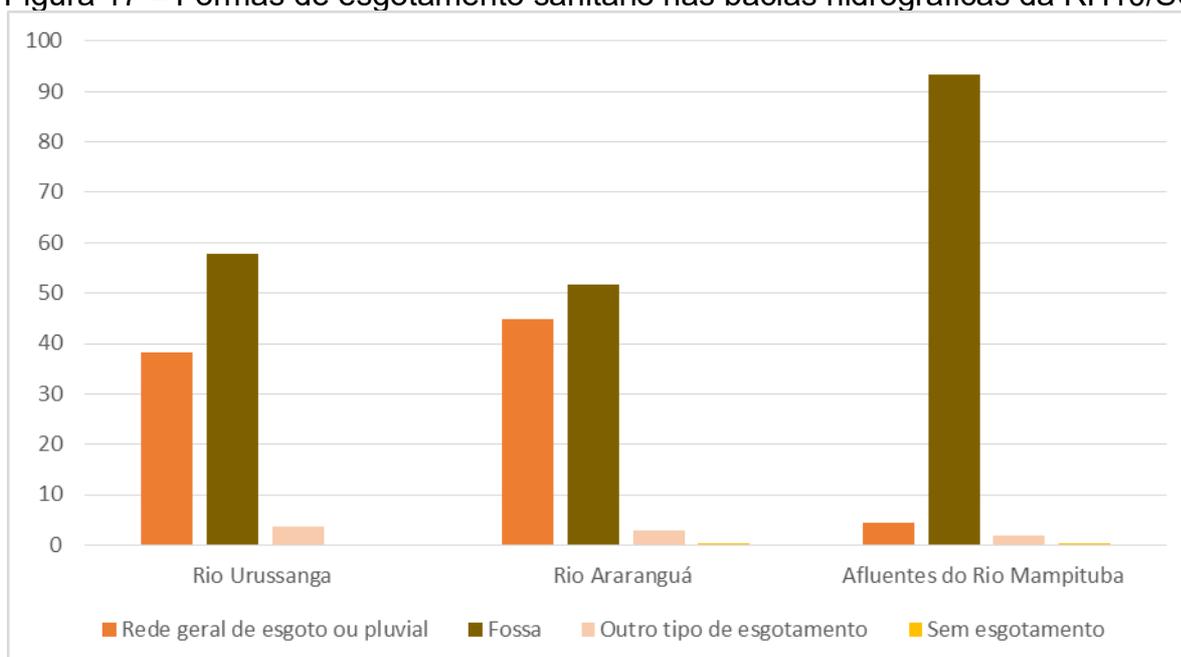
A Tabela 13 e a Figura 17 sintetizam os tipos de esgotamento sanitário predominantes na RH10/SC.

Tabela 13 – Resumo das formas de esgotamento sanitário na RH10/SC e nas bacias hidrográficas que a compõem

Tipo de esgotamento sanitário	% de domicílios			Total RH10/SC
	Rio Urussanga	Rio Araranguá	Afluentes do Rio Mampituba	
Rede geral de esgoto ou pluvial	38,26	44,87	4,33	37,36
Fossa	57,82	51,80	93,27	59,34
Outro tipo de esgotamento	3,79	3,01	1,95	3,00
Sem esgotamento	0,14	0,31	0,45	0,30

Fonte: Adaptado de IBGE (2010) e PERH/SC (2017).

Figura 17 – Formas de esgotamento sanitário nas bacias hidrográficas da RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor com base no PERH/SC (2017).

Importante notar, que somente 0,30% dos domicílios na RH10/SC não possuem esgotamento sanitário, sendo esse um aspecto considerando positivo e que contribui para a conservação das águas naturais no contexto das bacias.

4.2.8 Diagnóstico da disponibilidade hídrica

No diagnóstico da disponibilidade hídrica, são analisados aspectos referentes à quantidade e à qualidade das águas superficiais e subterrâneas na RH10/SC, em comparação com as demais regiões de Santa Catarina.

4.2.8.1 Análise quantitativa dos recursos hídricos

Para cada uma das regiões e bacias hidrográficas, foram estimadas as vazões médias mensais de longo termo (Q_{mt} , m^3/s), as vazões médias mensais com permanência de 90, 95 e 98% (Q_{90} , Q_{95} , Q_{98} , m^3/s) e a vazão mínima anual de sete dias consecutivos e dez anos de retorno ($Q_{7,10}$, m^3/s), juntamente com a distribuição sazonal dessas vazões (PERH/SC, 2017).

As Tabela 14 e 15 apresentam a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea para as regiões hidrográficas de Santa Catarina.

Tabela 14 – Disponibilidade hídrica superficial por RH

Região hidrográfica	Q_{mt} (m^3/s)	Q_{90} (m^3/s)	Q_{95} (m^3/s)	Q_{98} (m^3/s)	$Q_{7,10}$ (m^3/s)
RH1	177,1	28,3	19,5	12,4	13,2
RH2	309,9	82,5	64,2	45,9	19,5
RH3	215,9	45,3	34,6	23,8	21,0
RH4	561,3	146,9	109,5	74,1	39,2
RH5	207,3	63,4	50,1	37,8	23,5
RH6	166,0	58,7	47,2	37,3	16,6
RH7	495,6	129,7	99,9	70,1	26,5
RH8	134,9	64,0	53,2	43,7	24,5
RH9	169,1	64,3	50,7	38,9	28,8
RH10	173,5	37,6	25,3	16,3	13,1

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

Tabela 15 – Vazões estimadas de poços representativos por RH

Região hidrográfica	Qméd (m ³ /h)	Qmáx (m ³ /h)	Qmín (m ³ /h)
RH1	32	107	1
RH2	41	175	6
RH3	101	269	30
RH4	24	252	1
RH5	13	34	1
RH6	15	90	4
RH7	18	79	4
RH8	57	60	3
RH9	23	80	9
RH10	24	40	1

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

Por esses dados acima apresentados, observa-se que em Santa Catarina a RH10 é a que apresenta a menor vazão de água superficial disponível para todos os percentuais de permanência e a segunda região em termos de vazão máxima disponível em termos de água subterrânea.

4.2.8.2 Análise qualitativa dos recursos hídricos

Levando em conta os valores médios dos parâmetros de qualidade da água disponíveis no banco de dados do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNAQ/ANA, 2016) e os limites de lançamento estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios classe 2, a RH10/SC encontra-se fora do padrão legal no que diz respeito ao parâmetro de pH das águas superficiais, apresentando águas ligeiramente mais ácidas do que o aceitável, especialmente pela intensa atividade de extração mineral. Os parâmetros de turbidez e oxigênio dissolvido encontram-se, na média, dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA na RH10/SC.

A situação geral de cada região hidrográfica de Santa Catarina foi avaliada com base nos resultados de amostras dos parâmetros de qualidade: pH, turbidez e oxigênio dissolvido (Tabela 16).

Tabela 16 – Valor médio dos parâmetros de qualidade das águas em Santa Catarina

Região hidrográfica	pH	Turbidez (UNT)	OD (mg/L)
RH1	6,8 ± 0,2	67,1 ± 34,2	7,9 ± 0,3
RH2	6,7 ± 1,8	9,4 ± 13,1	7,1 ± 1,2
RH3	7,1 ± 0,3	9,5 ± 7,4	7,5 ± 0,6
RH4	6,8 ± 0,4	17,6 ± 13,9	7,1 ± 0,7
RH5	7,4 ± 0,2	5,0 ± 7,1	7,1 ± 2,9
RH6	5,6 ± 0,	23,6 ± 24,9	8,2 ± 1,8
RH7	6,4 ± 0,6	69,9 ± 57,7	7,8 ± 2,1
RH8	5,8 ± 0,3	54,3 ± 40,6	8,9 ± 0,4
RH9	5,3 ± 0,4	46,3 ± 22,6	8,8 ± 0,3
RH10	5,9 ± 1,1	11,0 ± 9,1	8,8 ± 0,9

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

Em relação à qualidade das águas subterrâneas, uma avaliação foi realizada tendo em vista os resultados do parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) obtidos das amostras dos poços representativos das regiões e bacias hidrográficas do estado (CPRM, 2013).

A concentração de SDT observada variou de acordo com as diferentes regiões hidrográficas e bacias. De modo geral, permaneceu entre 46 e 1.587 mg/L entre as regiões hidrográficas, com média de 284 mg/L, indicando que majoritariamente as águas subterrâneas catarinenses apresentam boa qualidade (PERH/SC, 2017).

Apesar da baixa concentração de SDT e de uma tendência geral de qualidade adequada, as águas subterrâneas do litoral têm altos teores de flúor e manganês (CPRM, 2013). Além disso, aquíferos localizados na RH10/SC podem apresentar elevados índices de ferro e acidez em suas águas de recarga (CPRM, 2013).

4.2.9 Usos da água

Neste item, é dada a estimativa das demandas hídricas nas regiões hidrográficas e bacias hidrográficas em Santa Catarina, considerados os seguintes usos consuntivos: abastecimento urbano; abastecimento rural; criação animal; uso industrial; e irrigação (Tabela 17).

Tabela 17 – Usos consultivos de água na RH10/SC

Tipos de uso consultivo	Descrição
Abastecimento público	Considera o consumo da população urbana, o número de habitantes e a infraestrutura de abastecimento público.
Abastecimento público flutuante	Considera a população que habita temporariamente os municípios, utilizando a infraestrutura de abastecimento público e demandando uma parcela a mais de água.
Abastecimento público em área rural	Considera o número de habitantes e o consumo da população residente na área rural dos municípios.
Criação animal	Considera os diferentes tipos de rebanho, o número de cabeças de cada efetivo rebanho e os respectivos consumos de água para criação.
Industrial	Considera os diferentes tipos de indústrias: construção civil, eletro-metalmeccânica, têxtil, alimentos, papel e celulose, automóveis e outras indústrias.
Irrigação	Considera as áreas irrigadas nos municípios para os diferentes tipos de culturas e suas demandas específicas por hectare.

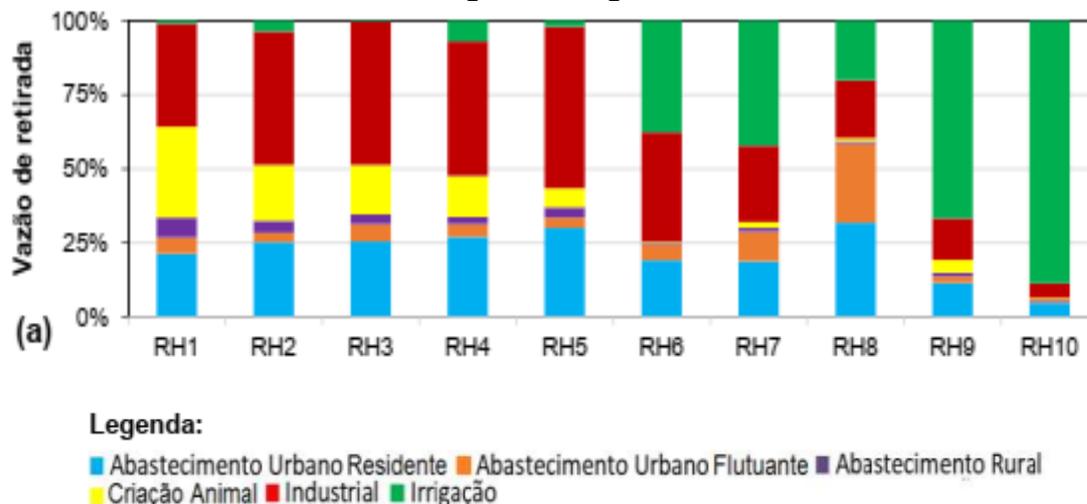
Fonte: Adaptado do PERH/SC (2017)

A vazão total de retirada de todas as atividades em Santa Catarina é da ordem de 88 m³/s, sendo 40,26 m³/s efetivamente consumidos. Esses valores representam cerca de 4% da vazão total de retirada (2.275 m³/s) e 3% da consumida (1.210 m³/s) no Brasil (PERH/SC, 2017).

Quanto à demanda pelos diferentes setores usuários do estado, o maior uso da água está vinculado à irrigação, responsável por 48% da vazão total de retirada. Logo após, vêm os setores industrial (23%), de abastecimento humano urbano (17%), de abastecimento humano urbano flutuante (7%), de criação animal (4%) e de abastecimento humano rural (1%). Vale ressaltar que a soma das demandas de abastecimento humano (urbano residente, flutuante e rural) chega a 25% da demanda total, ultrapassando a industrial (PERH/SC, 2017).

A Figura 18 lista o percentual de contribuição de cada um dos usos nas vazões de retirada para cada uma das bacias e regiões hidrográficas de Santa Catarina.

Figura 18 – Contribuição percentual de cada tipo de uso na vazão total em cada região hidrográfica



Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

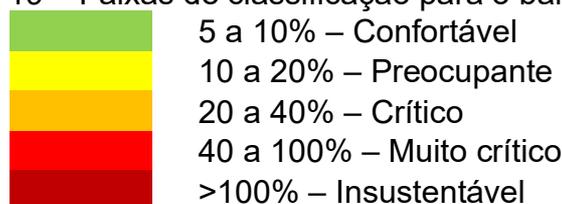
Verifica-se que a RH10/SC está entre as que apresentam maiores exigências em termos de demanda hídrica, em especial para a irrigação. Das principais bacias hidrográficas do estado, a bacia do Rio Araranguá é que apresenta a maior procura por recursos hídricos.

4.2.10 Balanço hídrico quali quantitativo

O balanço hídrico superficial consiste na análise da razão entre a demanda total de água e a disponibilidade hídrica superficial. Para a estimativa do balanço hídrico na RH10/SC e nas regiões e bacias hidrográficas de Santa Catarina, foram considerados os aspectos de quantidade e qualidade de água abordados anteriormente.

O balanço quali quantitativo superficial foi realizado com base na análise da razão entre a demanda hídrica total e a disponibilidade de água. As faixas de classificação para o balanço quali quantitativo foram elaboradas conforme a *European Environment Agency* (ANA, 2013), ver Figura 19:

Figura 19 – Faixas de classificação para o balanço hídrico



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 18 apresenta os resultados do balanço hídrico quali-quantitativo de água superficial considerando a vazão de retirada e a disponibilidade hídrica superficial para o cenário avaliado em 2017.

Tabela 18 – Balanço hídrico superficial por região hidrográfica em Santa Catarina

Região hidrográfica	Balanço quantitativo (Retirada/Q98)	Balanço qualitativo (Subsídio/Q98)
RH1	17,30%	263,80%
RH2	9,10%	200,00%
RH3	15,00%	41,00%
RH4	5,30%	173,50%
RH5	7,40%	51,50%
RH6	34,40%	100,80%
RH7	28,00%	205,80%
RH8	23,40%	242,30%
RH9	20,30%	205,10%
RH10	161,50%	377,50%

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

Analisando o balanço hídrico quantitativo por região hidrográfica, em que foram consideradas apenas as vazões de retirada dos setores usuários, se observa que a região com a maior criticidade é a RH10/SC, em que as altas demandas de água para a irrigação, principalmente do arroz, são superiores à disponibilidade hídrica superficial. Esse resultado também indica a incapacidade da RH10/SC de diluir as cargas orgânicas lançadas nos corpos hídricos, sendo necessários investimentos em saneamento urbano e rural para reduzir tais cargas.

4.2.11 Cenário tendencial futuro – evolução da demanda hídrica de retirada

Neste item, foi apresentado um cenário tendencial futuro em relação à demanda hídrica na RH10/SC, considerando-se que todos os setores usuários de recursos hídricos demonstram uma tendência de crescimento da demanda de retirada ao longo da próxima década.

Em 2027, espera-se que a demanda hídrica de retirada na RH10/SC seja de aproximadamente 33,27 m³/s; desta, o setor irrigação exigirá 18,33 m³/s, o que representa cerca de 45% da demanda total. A Tabela 19 oferece um resumo com as projeções para o ano de 2027 das vazões de retirada total e para as finalidades não potáveis de água em cada bacia.

Tabela 19 – Projeção das vazões de retirada para 2027

Bacia hidrográfica	Criação animal	Industrial	Irrigação	Total
Rio Araranguá	0,120	5,889	14,348	24,137
Rio Urussanga	0,035	2,611	0,542	4,074
Afluentes do Rio Mampituba	0,073	1,200	3,736	5,382
Total RH10/SC	0,212	9,700	18,33	33,273

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

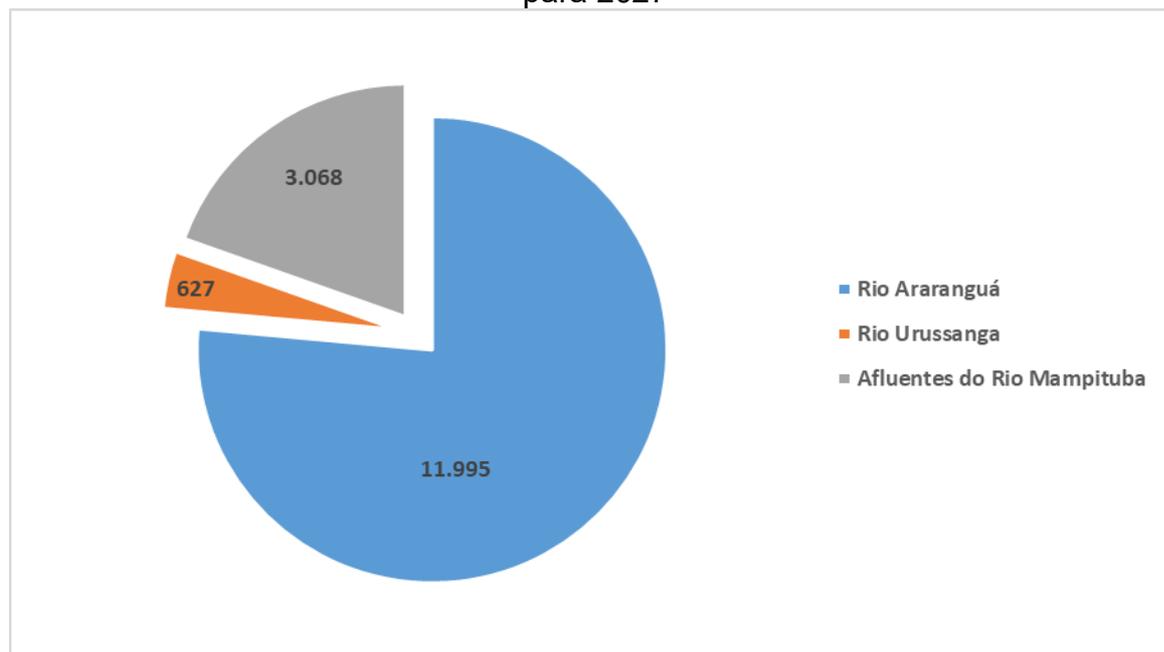
A Tabela 20 e as Figuras 20 e 21 apresentam as projeções de vazão de consumo total e para as finalidades não potáveis de água em cada bacia.

Tabela 20 – Projeção das vazões de consumo

Bacia hidrográfica	Criação animal	Industrial	Irrigação	Total
Rio Araranguá	69	142	11.784	12.194
Rio Urussanga	20	87	520	746
Afluentes do Rio Mampituba	31	22	3.015	3.116
Total RH10/SC	120	251	15.351	16.057

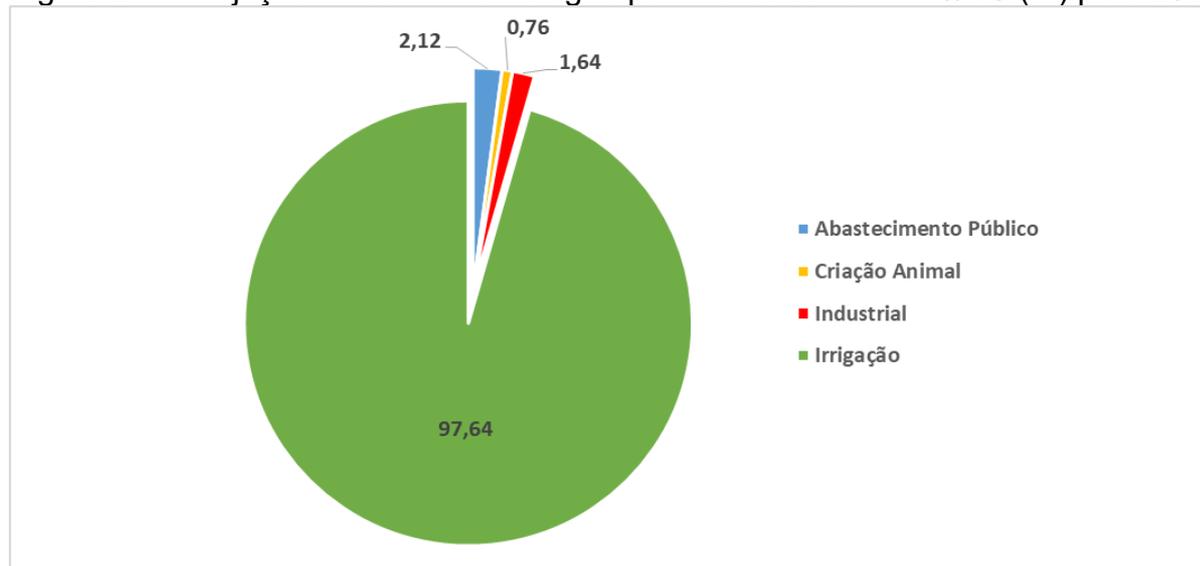
Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

Figura 20 – Projeção de consumo de água por bacia hidrográfica da RH10/SC (L/s) para 2027



Fonte: Elaborado pelo autor.

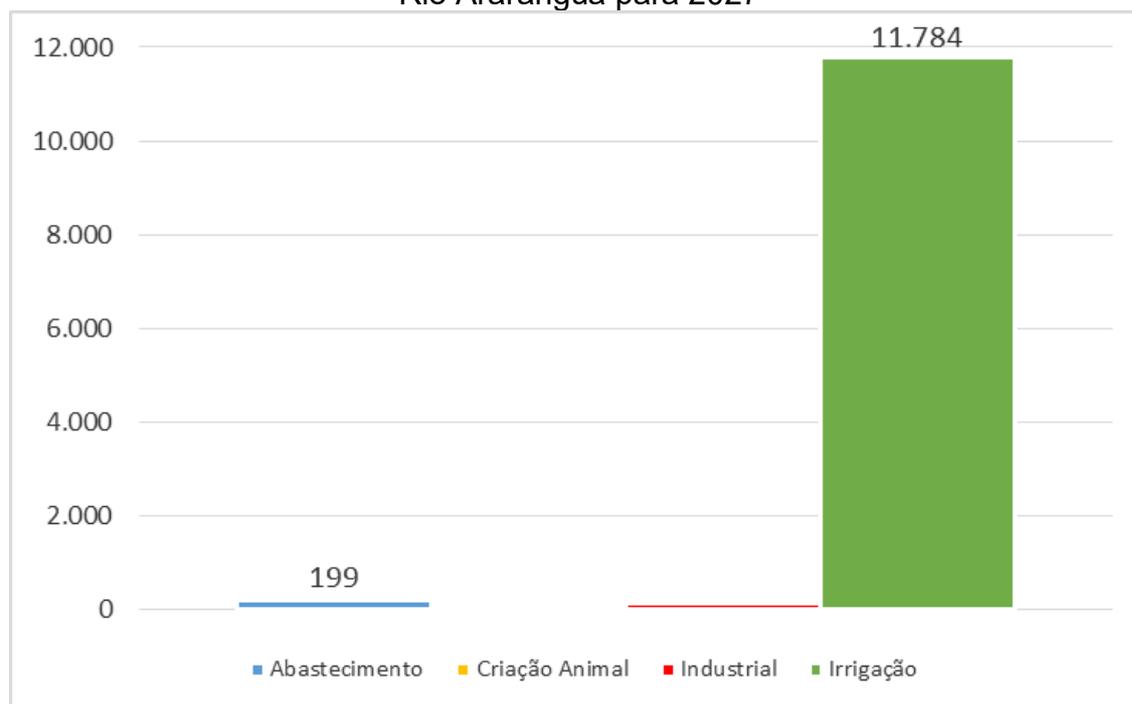
Figura 21 – Projeção do consumo de água por finalidade na RH10/SC (%) para 2027



Fonte: Elaborado pelo autor.

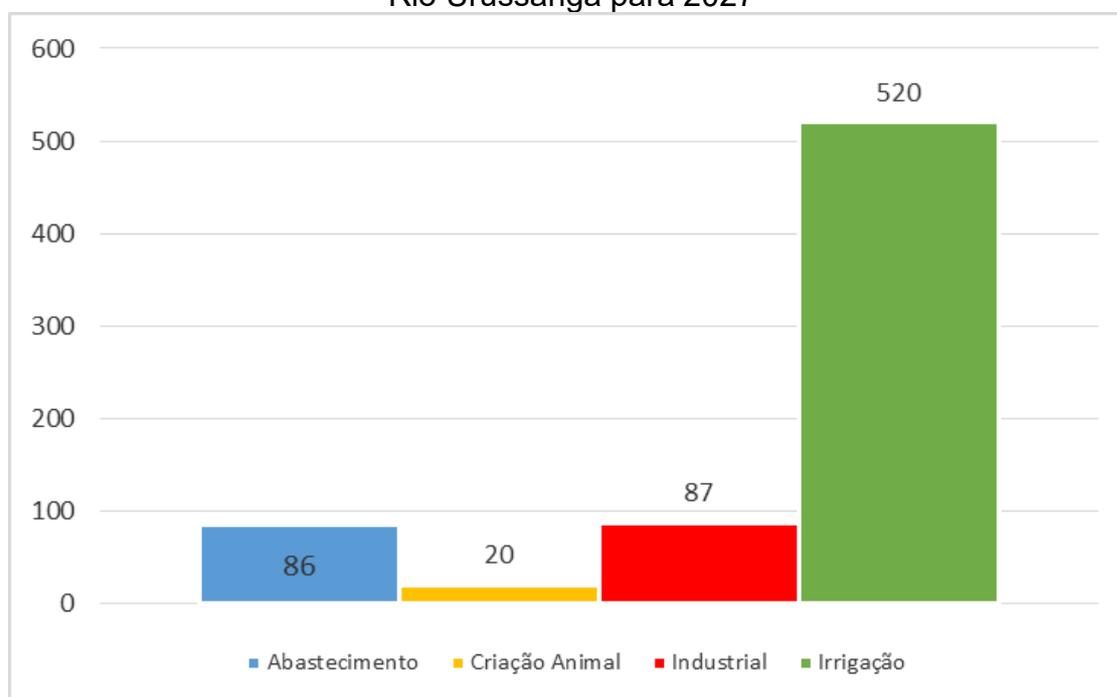
As Figuras 22, 23 e 24 apresentam os consumos de água por finalidade de uso nas bacias hidrográficas da RH10/SC para 2027.

Figura 22 – Projeção por finalidade de consumo de água na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá para 2027



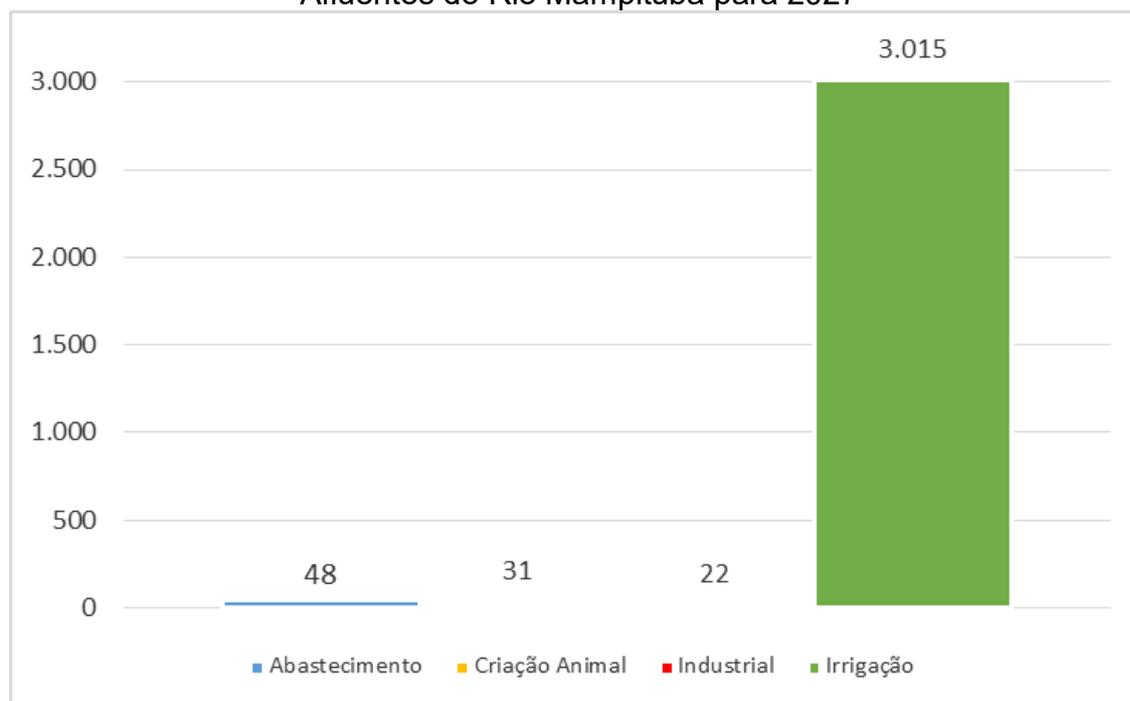
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Projeção por finalidade de consumo de água na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga para 2027



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 – Projeção por finalidade de consumo de água na Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Rio Mampituba para 2027



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como observado nas Figuras 22, 23 e 24, verifica-se que a irrigação é principal finalidade de consumo de água na RH10/SC.

4.2.12 Cenário tendencial futuro – balanço hídrico quali-quantitativo

No cenário tendencial futuro para o ano de 2027, se verificou um agravamento da situação, em que praticamente todas as RHs apresentaram níveis críticos com relação à quantidade e à qualidade da água, considerando-se a tendência de aumento da demanda pelo uso da água e nenhuma medida de compatibilização tomada. A Tabela 21 expõe a evolução do balanço hídrico nas RHs de Santa Catarina.

Tabela 21 – Balanço hídrico nas regiões hidrográficas no cenário tendencial

Região hidrográfica	Balanço quantitativo (2027)	Balanço qualitativo (2027)
RH1	39%	303%
RH2	33%	205%
RH3	63%	45%
RH4	14%	194%
RH5	65%	62%
RH6	59%	114%
RH7	58%	244%
RH8	59%	294%
RH9	49%	278%
RH10	204%	536%

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

O cenário de insustentabilidade da RH10/SC se mostrou ainda mais agravado, apresentando a maior fragilidade nos balanços hídricos qualiquantitativos entre as RHs do estado. O principal fator que contribui negativamente para o balanço qualiquantitativo continua a ser a alta vazão de subsídio para a diluição de cargas orgânicas lançadas em águas superficiais.

4.2.13 Alternativas para a compatibilização entre a disponibilidade hídrica e as demandas

Conforme apresentado, uma característica da RH10/SC, assim como das demais regiões e bacias hidrográficas catarinenses, é a alta criticidade do balanço hídrico qualitativo. Essa situação pode ser atribuída aos baixos índices de saneamento no estado, bem como à intensa atividade agropecuária, principalmente o lançamento de efluentes oriundos da criação animal. Ademais, as projeções observadas no cenário tendencial apontam para um aumento da criticidade dos balanços quantitativo e qualitativo na RH10/SC.

A Tabela 22 elenca as alternativas que podem ser aplicadas para promover a compatibilização na RH10/SC de Santa Catarina, sendo o reúso de água recomendado para o aumento da oferta de água.

Tabela 22 – Alternativas prioritárias de compatibilização para a gestão da demanda e da disponibilidade na RH10/SC

Alternativas para a gestão da demanda		Alternativas para a gestão da oferta
Quantidade	Qualidade	
Eficiência da irrigação Eficiência da mineração	Redução da poluição urbana Redução da poluição rural Redução da poluição na mineração Recuperação ambiental	Reúso de água Regularização de vazão Fontes alternativas de água

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017).

Nesse contexto, para reverter a situação atual de criticidade no balanço hídrico diagnosticada na RH10/SC, bem como para evitar o agravamento futuro, faz-se necessária a adoção de alternativas e estratégias para a compatibilização entre a disponibilidade e as demandas por uso de água.

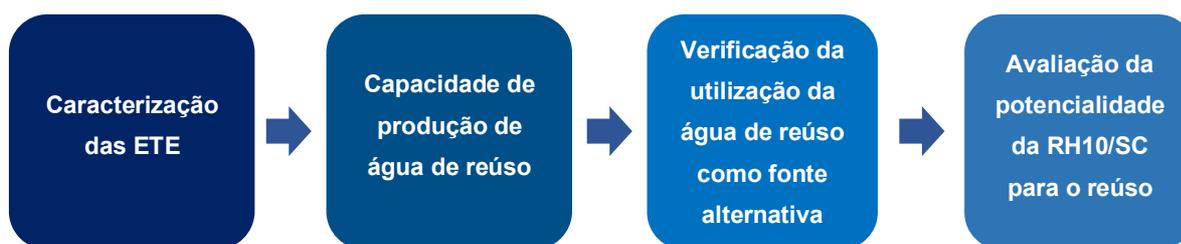
5 POTENCIALIDADE DA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA PARA O REÚSO DE ÁGUA

Neste capítulo, foi avaliada a potencialidade da RH10/SC para o reúso não potável de água.

A avaliação foi verificada para um cenário atual e para um cenário tendencial a partir da capacidade de produção de água de reúso das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) da região, e em relação as finalidades de consumo de água não potável selecionadas com base as informações apresentadas no Capítulo 4.

Na Figura 25, é apresentado o fluxograma com as etapas da avaliação da potencialidade da RH10/SC para o reúso não potável de água.

Figura 25 – Etapas da avaliação da potencialidade da RH10/SC para o reúso não potável de água



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA RH10/SC

Para a estimativa de produção de água de reúso a partir das ETEs, foi considerado que 100% da vazão dos efluentes tratados nas estações de tratamento serão disponibilizados para alguma finalidade de consumo não potável de água.

Para a avaliação do potencial de produção para o cenário atual, foram obtidas informações a partir das ETEs em operação na região. Já para avaliação de um cenário tendencial, foi considerando que 90% da população total de cada município foi atendida com coleta e tratamento de esgotos até 2033, conforme a meta de universalização estabelecida na Lei Federal nº 14.026/2020.

A fim de identificar e caracterizar as ETEs em operação na RH10/SC, foram pesquisadas informações em publicações e sites do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SNIS), no Atlas Esgotos produzido pela Agência Nacional de Águas (ANA), nos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), sites das operadoras dos serviços de saneamento municipais, site da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) e junto as Agências Reguladoras. Foram as seguintes informações e dados verificados para cada ETE e respectivo município:

- Entidade responsável pelo saneamento no município.
- Agência reguladora.
- Índice de coleta e tratamento de efluentes.
- Existência e identificação da ETE.
- Vazão média de operação.
- Nível de tratamento.
- Corpo receptor dos efluentes tratados.

Resultado da pesquisa, foi identificado que, dos 29 municípios que compõem a RH10/SC, somente sete possuem infraestrutura de coleta e tratamento de esgotos em operação, que são: Araranguá, Criciúma, Forquilha, Içara, Sombrio, Turvo e Urussanga.

Verificou-se ainda que os municípios que não dispõem de infraestrutura coletiva para coleta e tratamento de esgotos empregam outras soluções de esgotamento sanitário, com destaque para a fossa séptica como solução mais adotada para o tratamento individual.

A Tabela 23 apresenta as informações verificadas sobre as ETEs em operação na RH10/SC.

Tabela 23 – Informações sobre as ETEs na RH10/SC

Município	Bacia Hidrográfica	Operadora da ETE	Agência Reguladora	População Total (hab)	Índice de coleta e tratamento (%)		Nome da Estação de Tratamento de Efluentes	Corpo Receptor
					Cenário Atual	Cenário Tendencial		
Araranguá	Rio Araranguá	Município	ARESC	68.867	27	90	ETE Urussanguinha ETE São José	Rio Araranguá Rio Araranguá
Balneário Arroio do Silva	Afluentes do Mampituba	Município	ARESC	13.430	0	90	ETE Balneário Arroio do Silva	-
Balneário Gaivota	Afluentes do Mampituba	Município	ARIS	11.537	0	90	ETE Balneário Gaivota	-
Balneário Rincão	Rio Araranguá	Município	CISAM-SUL	13.129	0	90	ETE Balneário Rincão	-
Cocal do Sul	Rio Urussanga	Município	CISAM-SUL	16.821	0	90	ETE Cocal do Sul	-
Criciúma	Rio Araranguá	CASAN	CISAM-SUL	222.396	48	90	ETE Santa Luzia ETE Próspera	Rio Sangão Rio Linha Anta
Ermo	Rio Araranguá	CASAN	ARIS	2.060	0	90	ETE Ermo	-
Forquilha	Rio Araranguá	CASAN	ARIS	28.195	21	90	ETE Forquilha	Rio Mae Luzia
Içara	Rio Araranguá	CASAN	CISAM-SUL	59.228	21	90	ETE Içara	Rio Içara
Jacinto Machado	Rio Araranguá	Município	CISAM-SUL	10.376	0	90	ETE Jacinto Machado	-
Jaguaruna	Rio Urussanga	Município	ARIS	20.288	0	90	ETE Jaguaruna	-
Maracajá	Rio Araranguá	CASAN	ARIS	7.579	0	90	ETE Maracajá	-
Meleiro	Rio Araranguá	Município	CISAM-SUL	7.001	0	90	ETE Meleiro	-
Morro da Fumaça	Rio Urussanga	Município	ARIS	17.947	0	90	ETE Morro da Fumaça	-
Morro Grande	Rio Araranguá	Município	CISAM-SUL	2.888	0	90	ETE Morro Grande	-
Nova Veneza	Rio Araranguá	CASAN	CISAM-SUL	15.761	0	90	ETE Nova Veneza	-
Passo de Torres	Afluentes do Mampituba	CASAN	ARESC	9.573	0	90	ETE Passo de Torres	-
Pedras Grandes	Rio Urussanga	Município	CISAM-SUL	3.953	0	90	ETE Pedras Grandes	-
Praia Grande	Afluentes do Mampituba	Município	CISAM-SUL	7.312	0	90	ETE Praia Grande	-
Sangão	Afluentes do Mampituba	Município	CISAM-SUL	12.905	0	90	ETE Sangão	-
Santa Rosa do Sul	Afluentes do Mampituba	Município	CISAM-SUL	8.378	0	90	ETE Santa Rosa do Sul	-
São João do Sul	Afluentes do Mampituba	CASAN	ARESC	7.364	0	90	ETE São João do Sul	-
Siderópolis	Rio Araranguá	CASAN	ARIS	14.302	0	90	ETE Siderópolis	-
Sombrio	Afluentes do Mampituba	Município	ARIS	30.733	11	90	ETE Sombrio	Rio Caverá
Timbé do Sul	Rio Araranguá	Município	CISAM-SUL	5.343	0	90	ETE Timbé do Sul	-
Treviso	Rio Araranguá	Município	CISAM-SUL	3.966	0	90	ETE Treviso	-
Treze de Maio	Rio Urussanga	CASAN	ARESC	7.126	0	90	ETE Treze de Maio	-
Turvo	Rio Araranguá	CASAN	ARIS	13.213	31	90	ETE Turvo	Rio Turvo
Urussanga	Rio Urussanga	Município	CISAM-SUL	21.344	25	90	ETE Urussanga	Rio Urussanga
Total	-	-	-	663.015	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como observado o sistema coletivo de coleta e tratamento de esgoto é a solução de saneamento adotada pelos municípios com maior população na RH10/SC, ainda que no cenário atual a cobertura alcance menos da metade da população nesses municípios. Porém, para um cenário tendencial espera-se que a cobertura seja ampliada para o alcance a 90% da população até 2033.

5.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA

Neste item, foi verificada a capacidade de produção de água de reúso da RH10/SC a partir das informações e dos dados quantitativos das ETEs da região verificados no item (5.1).

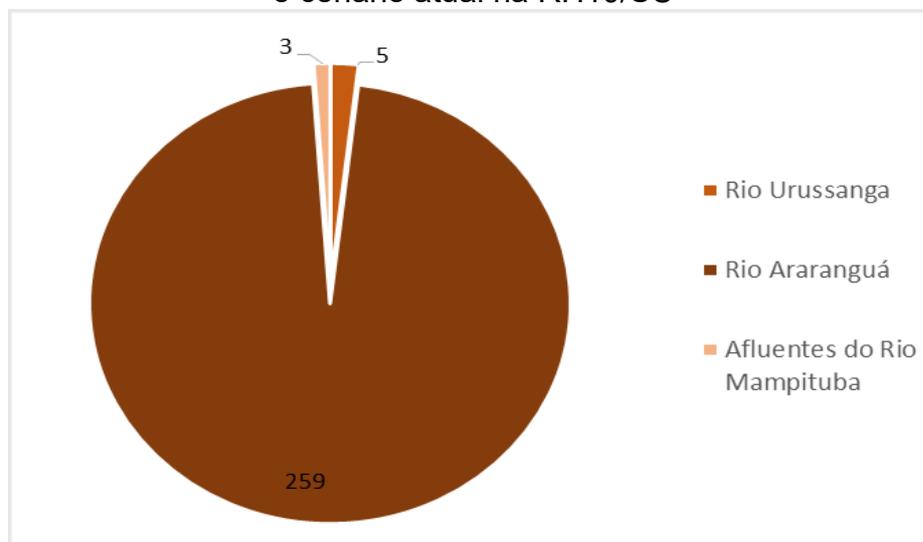
A capacidade foi verificada para um cenário atual e um cenário tendencial, considerando-se a universalização da coleta e do tratamento de efluentes.

5.2.1 Capacidade de produção de água de reúso para o cenário atual

Para a verificação da capacidade de produção de água de reúso para o cenário atual, foi identificado que somente sete municípios que possuem infraestrutura de coleta e tratamento de esgotos em operação, e um total de nove ETEs em operação.

A partir das vazões médias constatadas em cada uma das ETEs em operação na região, se obteve o potencial de produção de água de reúso de 267 L/s na região. A Figura 26 apresenta a produção de efluentes tratados e a produção de água de reúso em cada bacia hidrográfica da RH10/SC para o cenário atual.

Figura 26 – Potencial de produção de efluentes tratados e água de reúso (L/s) para o cenário atual na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

O maior potencial da região foi verificado na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, com 259 L/s, em virtude de essa bacia concentrar o maior número de municípios com ETEs em operação e abranger Criciúma, Araranguá e Içara, que representam 52% da população total da RH10/SC.

Nas Bacias Hidrográficas do Rio Urussanga e dos Afluentes do Rio Mampituba, a produção de efluentes tratados foi de 5 L/s e 3 L/s, respectivamente.

5.2.2 Capacidade de produção de água de reúso para o cenário tendencial

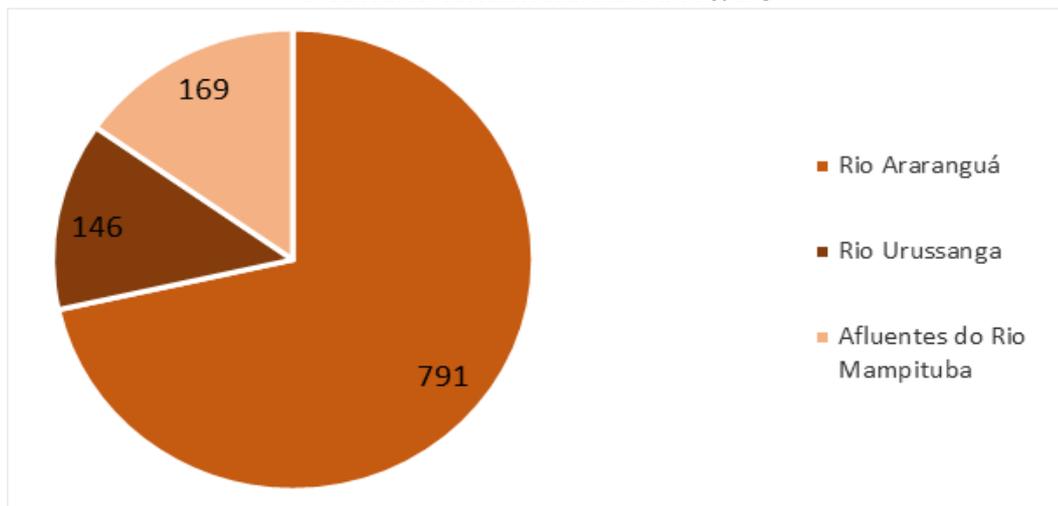
Para a verificação da capacidade de produção de água de reúso para o cenário tendencial, foi considerado que 90% da população dos municípios será atendida com coleta e tratamento de esgotos.

Para isso, foram contabilizadas a população total de cada município informada pelo IBGE (2022) e uma vazão de contribuição sanitária de 160 litros por habitante por dia. A partir das estimativas para cada município, se obteve o potencial de produção de efluentes tratados e de água de reúso no cenário tendencial: 1.105 L/s para toda a região.

Assim como no cenário atual, a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá também foi aquela com o maior potencial de produção de efluente tratado, com 791 L/s, o que representa 71% da vazão total produzida na RH10/SC. Nas Bacias Hidrográficas do Rio Urussanga e dos Afluentes do Rio Mampituba, a vazão de

efluente tratado foi de 146 L/s e 169 L/s, respectivamente. A Figura 27 apresenta a produção de efluentes tratados para cada bacia hidrográfica da RH10/SC no cenário tendencial.

Figura 27 – Potencial de produção de efluentes tratados e água de reúso (L/s) para o cenário tendencial na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como resultado deste subitem, foi verificado que a capacidade em termos quantitativos para a produção de água de reúso nas ETEs da RH10/SC é de 267 L/s para um cenário atual e 1.105 L/s para um cenário tendencial.

A Tabela 24 apresenta a estimativa de capacidade de produção de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC nos cenários avaliados.

Tabela 24 – Produção de efluentes tratados nas bacias hidrográficas da RH10/SC

Bacia hidrográfica	Q efluente tratado (L/s)	
	Cenário atual	Cenário tendencial
Rio Araranguá	259	791
Rio Urussanga	5	146
Afluentes do Mampituba	3	169
Total RH10/SC	267	1.105

Fonte: Elaborado pelo autor.

As informações apresentadas quanto ao reúso de água servirão de base para a avaliação do potencial da RH10/SC, que foi realizada no próximo item deste

capítulo. Nessa análise, verificou para cada finalidade de uso não potável da água a capacidade de utilização de água de reúso em substituição à atual fonte.

5.3 VERIFICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO COMO FONTE ALTERNATIVA DE ÁGUA PARA AS FINALIDADES DE CONSUMO NÃO POTÁVEL NA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA

Neste item, foi verificado o potencial de utilização da água de reúso produzida a partir das ETEs como fonte alternativa de água para as finalidades de consumo de água não potável, com base nas informações e dados apresentados anteriormente.

Nessa verificação, foram considerados em termos de vazão, o potencial de produção de água de reúso para o cenário atual e para o cenário tendencial, assim como a vazão de consumo de água para as finalidades não potáveis, a saber: criação animal; industrial; e irrigação.

Para analisar o potencial de utilização em termos quantitativos, foi tida em conta a relação entre as vazões de produção de água de reúso de cada bacia hidrográfica, em comparação com a vazão de consumo de água das finalidades de consumo acima descritas. Tal relação indicará o percentual em que a água de reúso poderá substituir ou complementar a atual fonte de água utilizada.

Além da análise do potencial de utilização em termos quantitativos, foi realizada também a análise do potencial em termos qualitativos. Isso se deu a partir da verificação da compatibilização das ETEs, em relação ao nível de tratamento, com os requisitos de qualidade estabelecidos na regulamentação nacional.

Conforme mencionado na fundamentação teórica, o Brasil ainda não possui uma legislação federal vigente que estabeleça diretrizes, critérios e requisitos de qualidade que orientem o reúso de água no país. Assim, para essa análise, foram adotadas como referência as modalidades e diretrizes propostas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na minuta de Resolução publicada em 20 de outubro de 2022.

A Tabela 25 apresenta as modalidades e os usos previstos na proposta de Resolução CNRH/2022, que foram considerados nesta etapa.

Tabela 25 – Modalidades e usos previstos na minuta da Resolução CNRH/2022

Modalidades e usos	
Modalidades	Usos
Urbano irrestrito e restrito	Irrigação paisagística de instalações municipais, parques públicos, jardins de escolas e residências, descargas sanitárias, desobstrução de tubulações, lavagem de logradouros públicos e veículos, combate a incêndios, usos na construção civil, fontes ornamentais e outros usos urbanos em áreas públicas.
Agrícola irrestrito e restrito	Aplicação em culturas que passam por processamento e/ou que a parte comestível não apresenta contato com o efluente tratado.
Ambiental	Projetos de recuperação do meio ambiente, tais como manutenção de vazões dos rios ou de áreas alagadas ou inundáveis, criação ou melhoria de <i>wetlands</i> , revitalização de áreas degradadas, entre outros, de acordo com a legislação aplicável.
Aquicultura	Utilização para o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático.
Industrial	Utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais, de acordo com a legislação aplicável.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1 Verificação quantitativa do potencial de utilização da água de reúso como fonte alternativa de água para as finalidades de consumo não potável

Como descrito no item (5.2), o potencial de produção de água de reúso a partir das ETEs da RH10/SC é de 267 L/s para o cenário atual e de 1.105 L/s para o cenário tendencial, e o consumo total de água para as diferentes finalidades nas bacias hidrográficas foi de 16.057 L/s, sendo a Bacia do Rio Araranguá a responsável por grande parte do volume consumido, com 12.194 L/s.

Com base no conhecimento do potencial de produção de água de reúso para os cenários atual e tendencial, tal qual dos consumos de água nas bacias hidrográficas, foi verificado o potencial de utilização da água de reúso como fonte alternativa para as finalidades de consumo não potável de água

5.3.1.1 Verificação quantitativa do potencial de utilização da água de reúso para o cenário atual

A partir dos dados de vazão de efluentes tratados e de consumo de água, o percentual de utilização da água de reúso para cada finalidade nas bacias hidrográficas foi obtido para o cenário atual. De modo geral, no cenário atual, em termos quantitativos, “criação animal” e “industrial” apresentaram maior potencial para a utilização da água de reúso, a qual supriu os atuais consumos de água desses usos. Para a irrigação, o volume de água de reúso produzido poderá suprir somente 1,7% da demanda de água para essa atividade.

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá foi a que demonstrou maior potencial para a utilização de água de reúso, com 2,2%. Para as finalidades de criação animal e industrial, a água de reúso supre a vazão de água consumida na região. Para a irrigação, que consome a quantidade mais elevada de água na região, o reúso poderá suprir 2,2% da atual fonte.

A Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga vem em segundo lugar, com 0,8% do consumo total de água. Para todos os usos, a água de reúso poderá suprir apenas parcialmente o consumo, sendo “criação animal” o mais representativo, com cerca de 5,7%, e “irrigação”, o menos representativo, com apenas cerca de 0,8% do total necessário.

Já a Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Rio Mampituba foi a que apresentou menor potencial. Para todos os usos, a água de reúso poderá suprir apenas parcialmente o consumo, sendo o industrial o mais representativo, com 13,6%, e a irrigação, o menos representativo, com apenas 0,1% do total necessário.

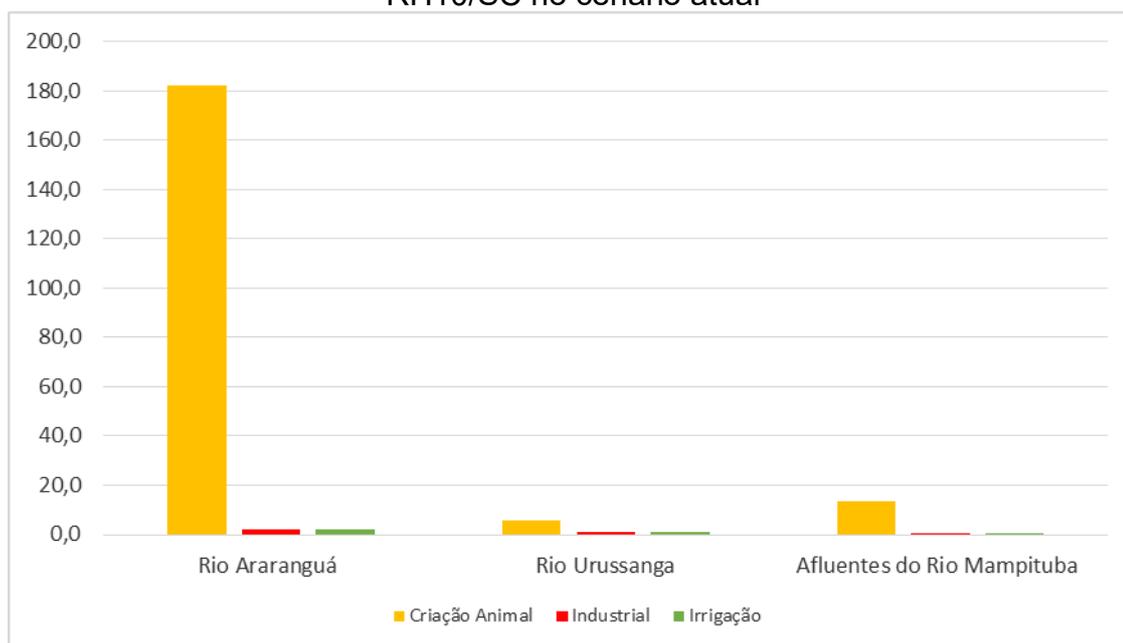
A Tabela 26 e a Figura 28 evidenciam o resultado do potencial de utilização da água de reúso para o cenário atual.

Tabela 26 – Utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário atual

Consumo suprido por água de reúso para o cenário atual (%)				
Bacia hidrográfica	Criação animal	Industrial	Irrigação	Total
Rio Araranguá	182,4	2,2	2,2	2,2
Rio Urussanga	5,7	1,0	0,8	0,8
Afluentes do Rio Mampituba	13,6	0,1	0,1	0,1
Total RH10/SC	106,4	1,7	1,7	1,7

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

Figura 28 – Percentual de utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário atual



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1.2 Verificação quantitativa do potencial de utilização da água de reúso para o cenário tendencial

O percentual de utilização da água de reúso para cada finalidade nas bacias hidrográficas da RH10/SC também foi obtido para o cenário tendencial. De modo geral, no cenário tendencial, “criação animal” e “industrial” apresentaram maior potencial para a utilização da água de reúso, que supriu os atuais consumos de água desses usos. Para a irrigação, o volume de água de reúso produzido poderá suprir 7,2% da demanda de água para essa atividade.

No cenário tendencial, a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga foi a que revelou maior potencial para o reúso, com 23,3% do consumo de água podendo ser sustentado por água de reúso. Para “criação animal” e “industrial”, a água de reúso supre a totalidade da vazão de água consumida na região. Para a irrigação, que representa o maior consumo de água da região, a água de reúso poderá suprir parcialmente (28,1%) a atual fonte.

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá foi a segunda com maior potencial de utilização da água de reúso, 6,6% do consumo. Para a criação animal e o industrial, a água de reúso supre a vazão de água consumida na região. Para o uso na irrigação, a água de reúso poderá suprir parcialmente (6,7%) a atual fonte.

Já a Bacia Hidrográfica dos Afluentes do Rio Mampituba, assim como no cenário atual, no cenário tendencial também apresentou menor potencial para a utilização da água de reúso, com apenas 5,5% do total – ainda que, para os usos de criação animal e industrial, a água de reúso supra a vazão de água consumida na região. Para a irrigação, a água de reúso poderá suprir parcialmente (5,6%) a atual fonte.

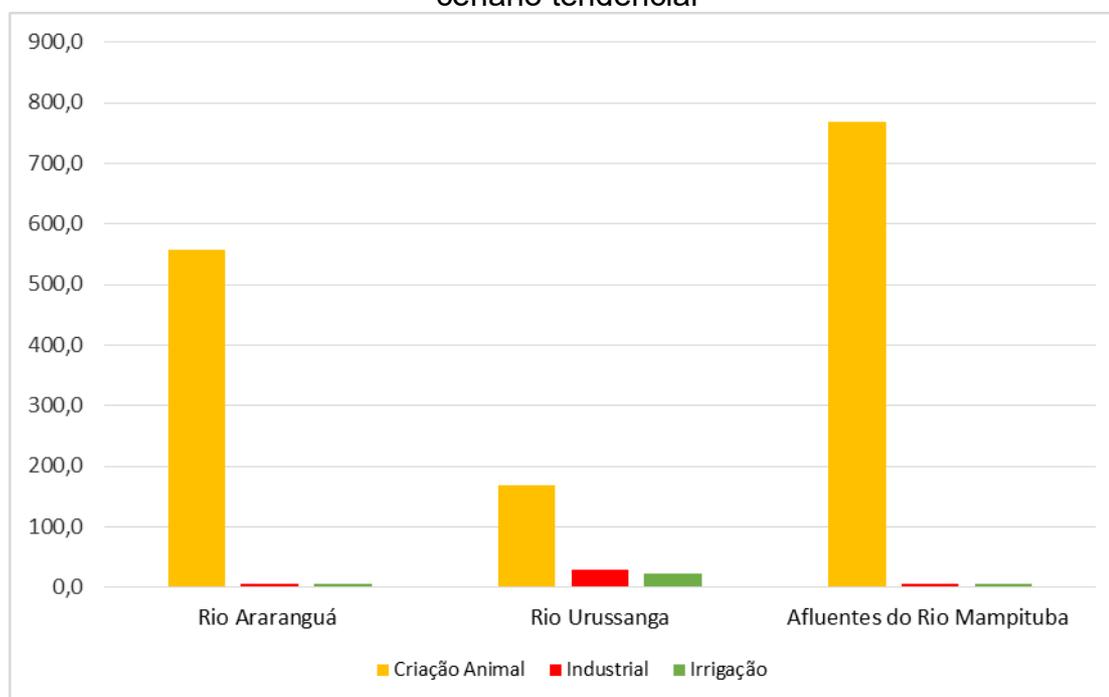
A Tabela 27 e a Figura 29 mostram o potencial de utilização da água de reúso para o cenário tendencial.

Tabela 27 – Utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário tendencial

Consumo suprido por água de reúso para o cenário tendencial (%)				
Bacia hidrográfica	Criação animal	Industrial	Irrigação	Total
Rio Araranguá	557,0	6,7	6,6	4,2
Rio Urussanga	167,8	28,1	23,3	24,4
Afluentes do Rio Mampituba	768,2	5,6	5,5	2,8
Total RH10/SC	440,2	7,2	7,0	4,7

Fonte: Adaptado de PERH/SC (2017)

Figura 29 – Utilização de água de reúso nas bacias hidrográficas da RH10/SC no cenário tendencial



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.2 Verificação qualitativa do potencial de utilização da água de reúso como fonte alternativa de água para as finalidades de consumo não potável

Como verificado nos itens anteriores, no cenário atual, existem nove ETEs em operação na RH10/SC, sendo que oito possuem nível de tratamento secundário com desinfecção por cloração e uma possui sistema de tratamento por lagoa facultativa, sem unidade de desinfecção, que é a ETE de Urussanga.

Com o conhecimento do nível de tratamento das ETEs em operação e do nível de tratamento requerido na proposta de Resolução do CNRH/2022 para as diferentes modalidades e usos, foi verificada em termos qualitativos a potencialidade das ETEs para a produção de água de reúso.

Nesse contexto, somente a ETE de Urussanga não apresentou potencial para nenhuma modalidade ou uso previsto na proposta de Resolução do CNRH/2022 devido ao seu nível de tratamento. As ETEs dos municípios de Araranguá, Criciúma, Forquilha, Içara, Sombrio e Turvo mostraram potencial para as seguintes modalidades: urbano restrito, agrícola restrito, ambiental e aquicultura.

Em relação ao uso agrícola restrito, a sua aplicação se restringe às culturas que passam por processamento e/ou que a parte comestível não faz contato com o efluente tratado, sendo este o caso da cultura do arroz, que predomina na região.

O reúso para a indústria e a criação animal não foi contemplado na proposta do CNRH (2022), pois os requisitos de qualidade dependem de cada tipo de indústria ou de rebanho.

A Tabela 28 apresenta a compatibilização das ETEs em operação em relação ao nível de tratamento e às diferentes modalidades e usos recomendados na proposta de Resolução do CNRH (2022).

Tabela 28 – Compatibilidade das ETEs em relação às modalidades e usos recomendados pelo CNRH (2022)

ETE	Nível de tratamento	Potenciais	
		Modalidade	Usos
ETE Urussanguinha ETE São José ETE Santa Luzia ETE Próspera ETE Forquilha ETE Içara ETE Sombrio ETE Turvo	Secundário + Desinfecção	Urbano restrito	Irrigação paisagística de instalações municipais, parques públicos, jardins de escolas e residências, descargas sanitárias, desobstrução de tubulações, lavagem de logradouros públicos e veículos, combate a incêndios, usos na construção civil, fontes ornamentais e outros usos urbanos em áreas públicas.
		Agrícola restrito	Aplicação em culturas que passam por processamento e/ou que a parte comestível não apresenta contato com o efluente tratado.
		Ambiental	Projetos de recuperação do meio ambiente, tais como manutenção de vazões dos rios ou de áreas alagadas ou inundáveis, criação ou melhoria de <i>wetlands</i> , revitalização de áreas degradadas, entre outros, de acordo com a legislação aplicável.
		Aquicultura	Utilização para o cultivo ou a criação de organismos cujo ciclo de vida, em condições naturais, ocorre total ou parcialmente em meio aquático.
ETE Urussanga	Lagoa facultativa aerada	Nenhuma	Nenhum

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da verificação qualitativa do potencial de utilização da água de reúso como fonte alternativa de água para as finalidades de consumo não potável, o item a seguir apresenta uma avaliação geral sobre a potencialidade da RH10/SC para o reúso de água.

5.4 AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DA RH10/SC PARA O REÚSO DE ÁGUA

Com o levantamento da capacidade de produção de água de reúso a partir das ETEs, tanto no cenário atual como no cenário futuro, se verificou que a RH10/SC possui capacidade suficiente para suprimento a totalidade das demandas de consumo de água para as finalidades industrial e de criação animal. A Bacia do Rio Araranguá, que tem a maior área de abrangência e os municípios mais populosos, é a que apresenta o maior potencial de produção de água de reúso.

Para a irrigação, que é a maior atividade consumidora de água na região, a vazão de produção de água de reúso poderá suprir no máximo 7,2% da sua demanda, isso no cenário tendencial, em que se prevê a máxima capacidade de produção de água de reúso na RH10/SC.

Foi verificado que a maioria das ETEs já em operação na RH10/SC oferece nível de tratamento secundário com desinfecção, o que atende aos requisitos da proposta do CNRH (2022) para as modalidades urbano restrito, agrícola restrito, ambiental e aquicultura.

Contudo, a aplicação da água de reúso para a modalidade agrícola com uso restrito se mostra inviável para a cultura do arroz, que predomina na região e é responsável pela maior demanda de água. Na cultura do arroz irrigado, o solo e a planta permanecem submersos, em contato com a água na maior parte do ciclo de crescimento da planta, sendo drenado pouco tempo antes da colheita.

Já a aplicação da água de reúso para fins industriais e para a criação animal não está contemplada na proposta apresentada pelo CNRH (2022); e, como o estado de Santa Catarina ainda não possui legislação para o reúso de água, fica a aplicação da água de reúso para essas finalidades na RH10/SC condicionada à análise da legislação aplicável relacionada a essas atividades.

Portanto, para a RH10/SC, as modalidades com potencial para o reúso seriam a urbano restrito, a ambiental, a aquicultura e a agrícola restrito, mas somente para as culturas que passam por processamento e/ou que a parte

comestível não apresenta contato com o efluente tratado, como as culturas de fumo, feijão, milho e banana.

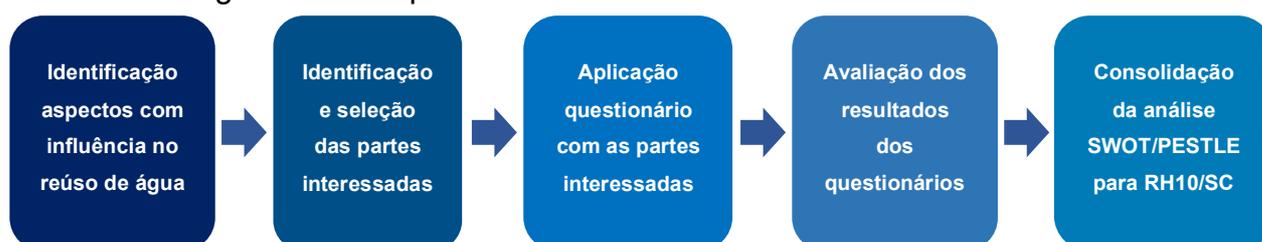
6 PERCEPÇÃO LOCAL E DESAFIOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA 10 DE SANTA CATARINA PARA O REÚSO DE ÁGUA

Para avaliar a percepção de especialistas sediados na região sobre a perspectiva do reúso de água e os desafios para a sua adoção, foi realizada uma análise SWOT combinada com a metodologia PESTLE, por meio da aplicação de um questionário eletrônico semiestruturado a um conjunto de instituições locais identificadas como partes interessadas, e tendo como base os aspectos observados em estudos e trabalhos realizados em outros países conforme apresentado na fundamentação teórica.

A grande vantagem de usar a análise SWOT/PESTLE está relacionada com a possibilidade de uma análise combinada de fatores internos e externos que têm impacto sobre um projeto, nesse caso sobre o reúso de água, especialmente porque estes últimos estão fora do controle da organização e mais difícil de se identificar (Srdjevi, *et al.* 2012).

Na Figura 30, é apresentado o fluxograma com as etapas da análise SWOT/PESTLE utilizada para verificação da percepção e os desafios da RH10/SC sobre a perspectiva do reúso de água.

Figura 30 – Etapas da análise SWOT/PESTLE na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS COM INFLUÊNCIA NO REÚSO DE ÁGUA

Para conhecimento e avaliação da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água, foi verificado inicialmente no Capítulo 2, por meio de revisão de literatura abrangendo outros estudos e trabalhos, os aspectos que têm potencial influência no sucesso ou fracasso para adoção do reúso de água num âmbito regional.

A partir dos achados de Mainali *et al.* (2011), Pérez e Berbel (2020), Winker *et al.* (2020), SUWANU EUROPE (2021b), Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e

Ebrahimi (2022) e Canad e Mehmeti (2024), foram identificados os principais aspectos considerados como pontos fortes (sete) e pontos fracos (12), as oportunidades (dez) e as ameaças (12) (Figura 31). Uma matriz SWOT/PESTLE foi elaborada como referência para utilização no desenvolvimento das etapas subsequentes desta pesquisa.

Figura 31 – Número de aspectos considerados na matriz SWOT/PESTLE de referência



Fonte: Elaborado pelo autor.

A matriz SWOT/PESTLE de referência está apresentada no Apêndice B e foi utilizada nas etapas a seguir.

6.2 IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DAS PARTES INTERESSADAS NA RH10/SC

O envolvimento das partes interessadas que atuam na região da pesquisa é parte fundamental deste trabalho, em especial nessa etapa de conhecimento do cenário da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água.

Para isso, executou-se uma pesquisa sobre as instituições governamentais e não governamentais que possuem potencial relação com o reúso de água e que atuam na região, na visão do pesquisador.

Para a seleção das instituições foram considerados os seguintes critérios:

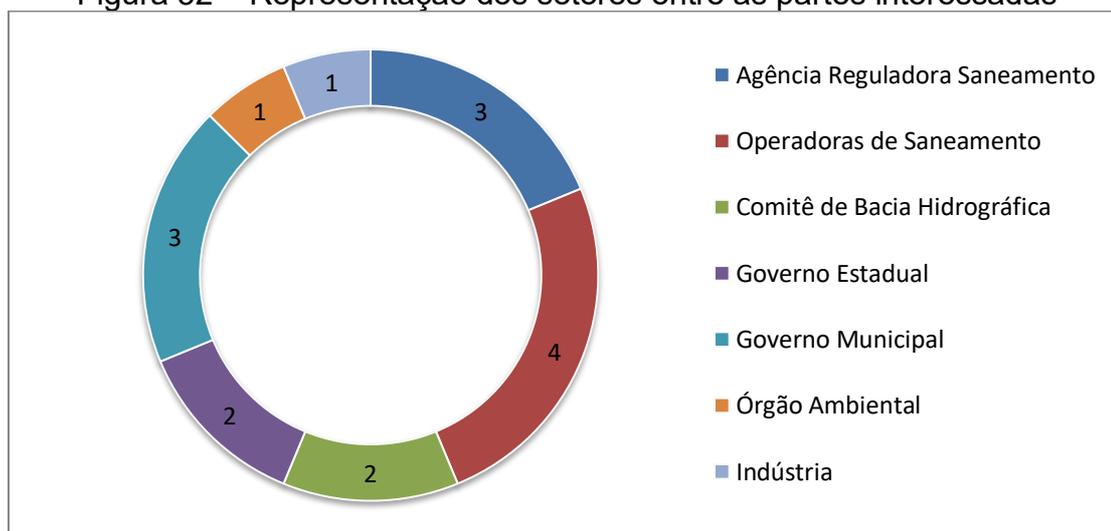
- Possuir competência legal e/ou institucional relacionada a gestão de recursos hídricos e saneamento;
- Possuir competência de regulamentação e/ou fiscalização;
- Possui responsabilidade pelo planejamento de recursos hídricos e saneamento;

- Promover pesquisa e inovação na região;
- Responsável pela operação e implantação do esgotamento sanitário;
e
- Representante dos setores usuários de água na região.

Como resultado, foram identificadas preliminarmente 16 instituições de diferentes setores e níveis de atuação, que foram categorizadas. Nesse sentido, foi realizado o cadastramento de seus representantes, a fim de convidá-los para participar da pesquisa.

A Figura 32 apresenta os setores de atuação das instituições identificadas. O Apêndice C traz a relação das instituições e outras informações relacionadas.

Figura 32 – Representação dos setores entre as partes interessadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para resposta aos questionários, foram designados pelos representantes das instituições, profissionais em nível de Direção, Gerencial, ou nível técnico com atuação relacionado ao tema da pesquisa.

As instituições identificadas nessa etapa como partes relacionadas foram convidadas a contribuir para a pesquisa através de um questionário eletrônico, cujos resultados estão apresentados a seguir.

6.3 APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS COM AS PARTES INTERESSADAS

A participação das instituições identificadas como partes interessadas ocorreu através de uma pesquisa quantitativa aplicada por meio de um questionário eletrônico semiestruturado elaborado através da ferramenta Google Formulários e que foi encaminhado pelo pesquisador.

Além das instituições que atuam na região, também foram convidados a participar da pesquisa um especialista em recursos hídricos e um especialista em tratamento de efluentes e reúso de água, ambos com conhecimento sobre a região.

Previamente ao encaminhamento para as partes interessadas, o questionário foi submetido para validação a três especialistas, sendo um representante das instituições operadoras de saneamento, um representante das universidades e um representante entre as Agências Reguladoras.

O questionário foi estruturado a partir dos aspectos identificados na matriz SWOT/PESTLE de referência (Apêndice B) elaborada na etapa anterior, em que foram atribuídas, por cada participante, notas para cada aspecto enquadrado como ponto forte e ponto fraco no ambiente interno, e como ameaça e oportunidade no ambiente externo, em uma escala de relevância de 5 pontos, sendo:

- 1 ponto para o aspecto considerado sem relevância;
- 2 pontos para aspecto considerado pouco relevante;
- 3 pontos para aspecto considerado razoavelmente relevante;
- 4 pontos para aspecto considerado relevante; e
- 5 pontos para aspecto considerado muito relevante.

Também, puderam as partes interessadas informar outros elementos que considerassem relevantes e que não constassem no questionário.

Antes da aplicação do questionário, foi realizado o contato com cada instituição selecionada para contextualizá-las sobre a pesquisa, informá-las da forma de participação e confirmar os dados para o envio do questionário. O aceite das instituições na avaliação dos questionários deu-se pela anuência dos representantes ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

Nessa etapa, o período entre o contato com as instituições, o encaminhamento dos questionários por *e-mail* e o recebimento das respostas foi de

90 dias. Ao final, foram enviados 18 questionários e todos foram respondidos pelas partes interessadas e os especialistas convidados. No Apêndice D estão apresentados os gráficos com os resultados dos questionários para cada aspecto avaliado.

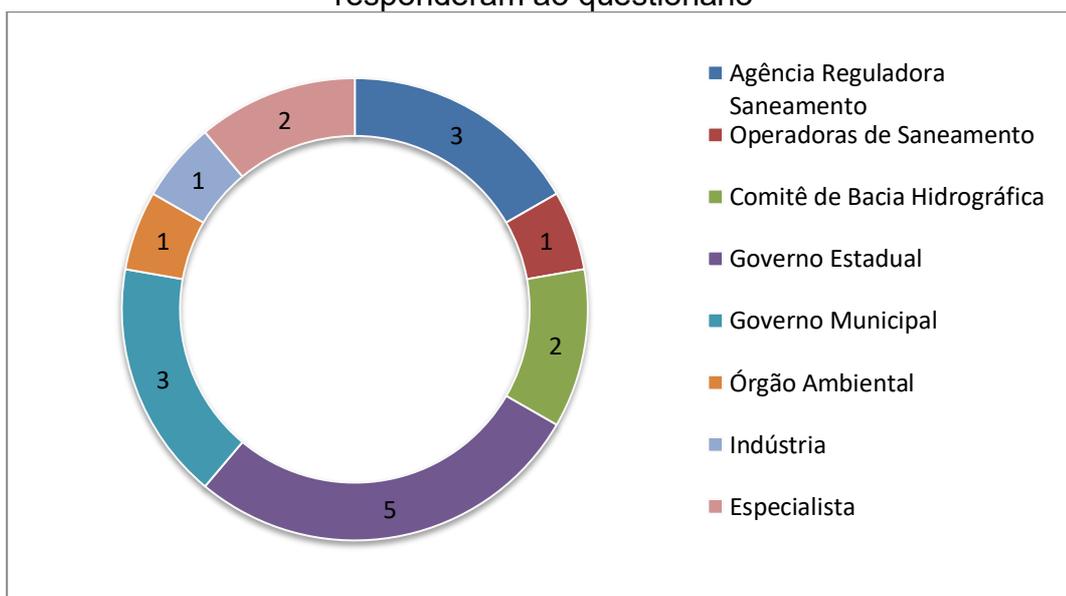
A Tabela 29 e a Figura 33 apresentam os setores de atuação das instituições identificadas como partes relacionadas que responderam aos questionários.

Tabela 29 – Respostas obtidas a partir do questionário de avaliação do cenário da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água

Setor	Número de questionários respondidos
Agência Reguladora de Saneamento	3
Operadoras de Saneamento	1
Comitê de Bacia Hidrográfica	2
Órgão do Governo Estadual	5
Órgão do Governo Municipal	3
Órgão Ambiental	1
Indústria	1
Especialistas	2
Total	18

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Representação dos setores entre as partes interessadas que responderam ao questionário



Fonte: Elaborado pelo autor.

As respostas aos questionários forneceram informações e subsídios relevantes para o desenvolvimento das etapas seguintes da pesquisa, sendo avaliadas e consolidadas a seguir.

6.4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS

Finda a etapa de aplicação dos questionários com as partes interessadas, a avaliação dos resultados foi realizada. Inicialmente, foi verificado, no conjunto das 18 respostas obtidas, o total das notas atribuídas para cada aspecto relacionado como ponto forte e ponto fraco no ambiente interno, e como ameaça e oportunidade no ambiente externo, em uma escala de relevância de cinco pontos.

A partir das notas, foi constatada a representatividade de cada aspecto em dois conjuntos de relevância, conforme metodologia utilizada por Lapolli (2022):

- Conjunto 1 (CJ1) – percentual dos aspectos considerados sem relevância e pouco relevantes em relação ao total.
- Conjunto 2 (CJ2) – percentual dos aspectos considerados razoavelmente relevantes, relevantes ou muito relevantes em relação ao total.

Foram levados em conta para a elaboração da matriz SWOT/PESTEL da RH10/SC somente os fatores avaliados como relevantes pela maioria das partes interessadas, ou seja, que no Conjunto 1 (CJ1) apresentaram resultado superior a 50% das respostas dos questionários.

A Tabela 30, a seguir, evidencia os resultados dos questionários respondidos pelas partes interessadas em relação aos aspectos considerados como pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças no contexto da RH10/SC.

Tabela 30 – Resultados dos questionários de avaliação do cenário da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água

(conclusão)

Ameaças	Relevância					CJ1		CJ2		Média
	1	2	3	4	5	Total	%	Total	%	
T1) Inexistência de legislação e regulamentos para o uso de esgotos tratados no Brasil e em Santa Catarina.	0	1	2	5	10	1,00	5,56	17,00	94,44	4,33
T2) Dificuldades para empreender as ações necessárias para a expansão da coleta e do tratamento de esgotos nos municípios.	0	0	4	4	10	0,00	0,00	18,00	100,00	4,33
T3) Usual baixa mobilização dos governantes municipais em temas relacionados ao saneamento e ao meio ambiente.	0	0	2	7	9	0,00	0,00	18,00	100,00	4,39
T4) Risco de o preço da água de reúso não ser competitivo em comparação com tarifas de água atualmente utilizadas.	1	0	4	5	8	1,00	5,56	17,00	94,44	4,06
T5) Falta de apoio e incentivo financeiro dos órgãos governamentais específicos para a promoção do reúso de água.	0	2	5	5	6	2,00	11,11	16,00	88,89	3,83
T6) Necessidade de investimentos para a produção e a distribuição da água de reúso pelas operadoras dos serviços de saneamento nos municípios.	0	0	2	9	7	0,00	0,00	18,00	100,00	4,28
T7) Possibilidade de menor rentabilidade dos produtos agrícolas cultivados com água de reúso.	3	4	4	3	4	7,00	38,89	11,00	61,11	3,06
T8) Perda de competitividade e de mercado para produtos cultivados com água de reúso.	3	4	5	3	3	7,00	38,89	11,00	61,11	4,28
T9) Falta de aceitação por parte dos distribuidores quanto aos produtos irrigados com águas de reúso.	3	2	7	5	1	5,00	27,78	13,00	72,22	2,94
T10) Relutância na aceitação pública e falta de confiança dos consumidores em produtos irrigados com água de reúso.	3	1	5	7	2	4,00	22,22	14,00	77,78	3,22
T11) Fiscalização sobre a segurança alimentar por órgãos de controle.	1	2	4	3	8	3,00	16,67	15,00	83,33	3,83
T12) Impacto na produtividade do solo e no rendimento de culturas irrigadas com água de reúso.	2	8	4	3	1	10,00	55,56	8,00	44,44	2,61
Média das ameaças										3,76

Fonte: Elaborado pelo autor.

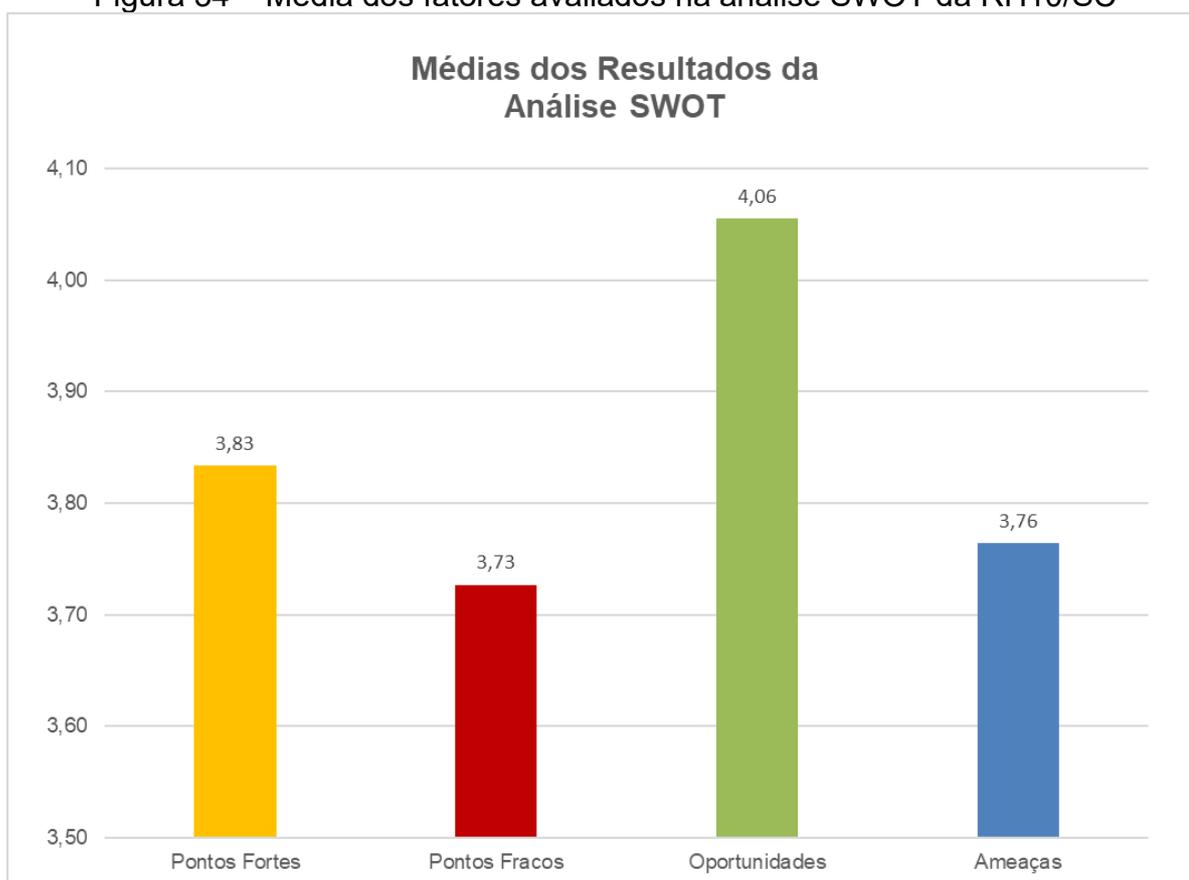
6.5 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS

A partir dos resultados dos questionários apresentados no subitem anterior, pode-se verificar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças frente à perspectiva do reúso de água na RH10/SC que foram considerados como relevantes pelas partes interessadas.

Em relação à média das notas atribuídas pelas partes interessadas aos aspectos avaliados em cada fator da análise SWOT, de modo geral, todos os fatores obtiveram notas acima de 3, evidenciando que, entre os que se mostraram relevantes para a realidade da RH10/SC, as oportunidades apresentaram a maior nota, com 4,06, e os pontos fracos receberam a menor nota, com 3,73.

A Figura 34 expõe a média das notas recebidas para cada fator da análise SWOT.

Figura 34 – Média dos fatores avaliados na análise SWOT da RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5.1 Pontos fortes

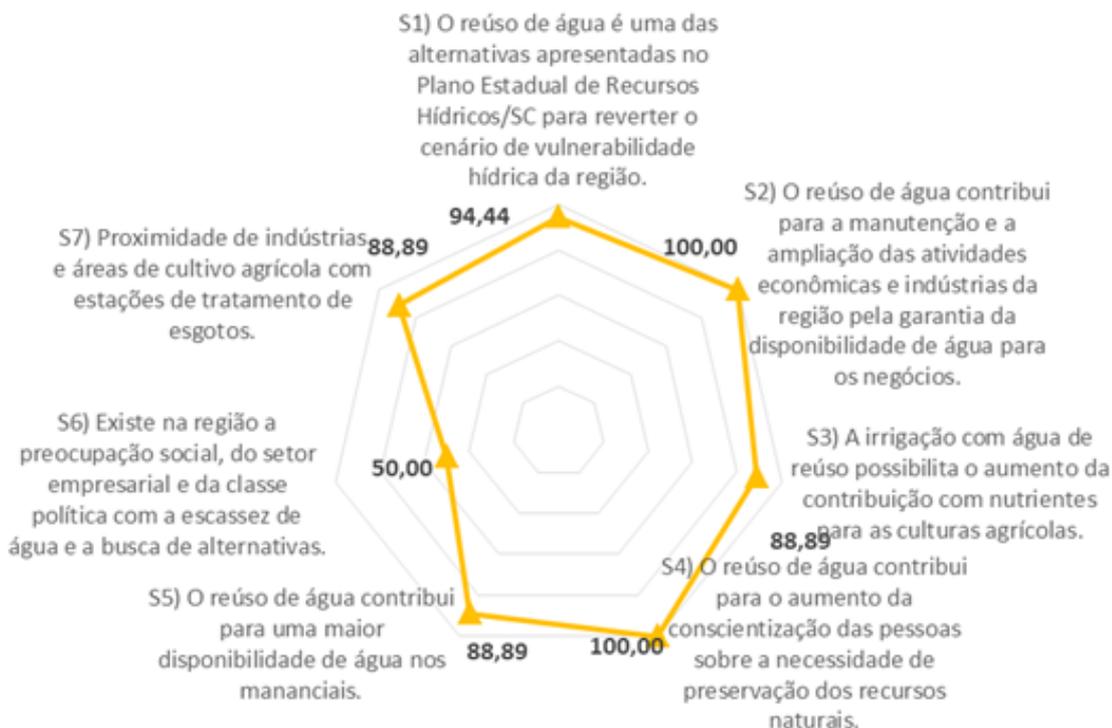
Entre os aspectos entendidos como pontos fortes, os aspectos S2 e S4 foram classificados como muito relevantes pelas partes interessadas por contribuir para a conscientização ambiental e a continuidade das atividades econômicas da região.

O aspecto S6 – “Existe na região a preocupação social, do setor empresarial e da classe política com a escassez de água e a busca de alternativas” – foi avaliado com pouca relevância por 50% das partes interessadas, enquanto os outros 50% consideraram-no relevante. Tal resultado, chama atenção pelo fato de que mesmo a região sofrendo com as consequências da escassez hídrica, em especial nos últimos anos, devido aos períodos de estiagem, essa não foi a percepção da maioria das instituições.

A conscientização pública sobre o problema da escassez de água, assim como os benefícios sociais, ambientais e econômicos associados ao reúso, foi também identificada como ponto forte na análise SWOT realizada por Mainali *et al.* (2011) e Canaj e Mehmeti (2024) em estudos realizados na Austrália e na Itália.

A Figura 35 apresenta os aspectos considerados como pontos fortes pelas partes interessadas.

Figura 35 – Pontos fortes para o reúso de água na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5.2 Pontos fracos

Como pontos fracos, o aspecto W8 – “Riscos à saúde dos trabalhadores, agricultores e usuários envolvidos na produção, distribuição e utilização da água de reúso” foi avaliado com pouca relevância por 50% das partes interessadas enquanto os outros 50% consideraram-no relevante. Esse resultado chama a atenção devido à baixa percepção de riscos à saúde dos trabalhadores pela utilização da água de reúso, o que de certa forma evidencia a confiança das partes interessadas na adoção dessa boa prática.

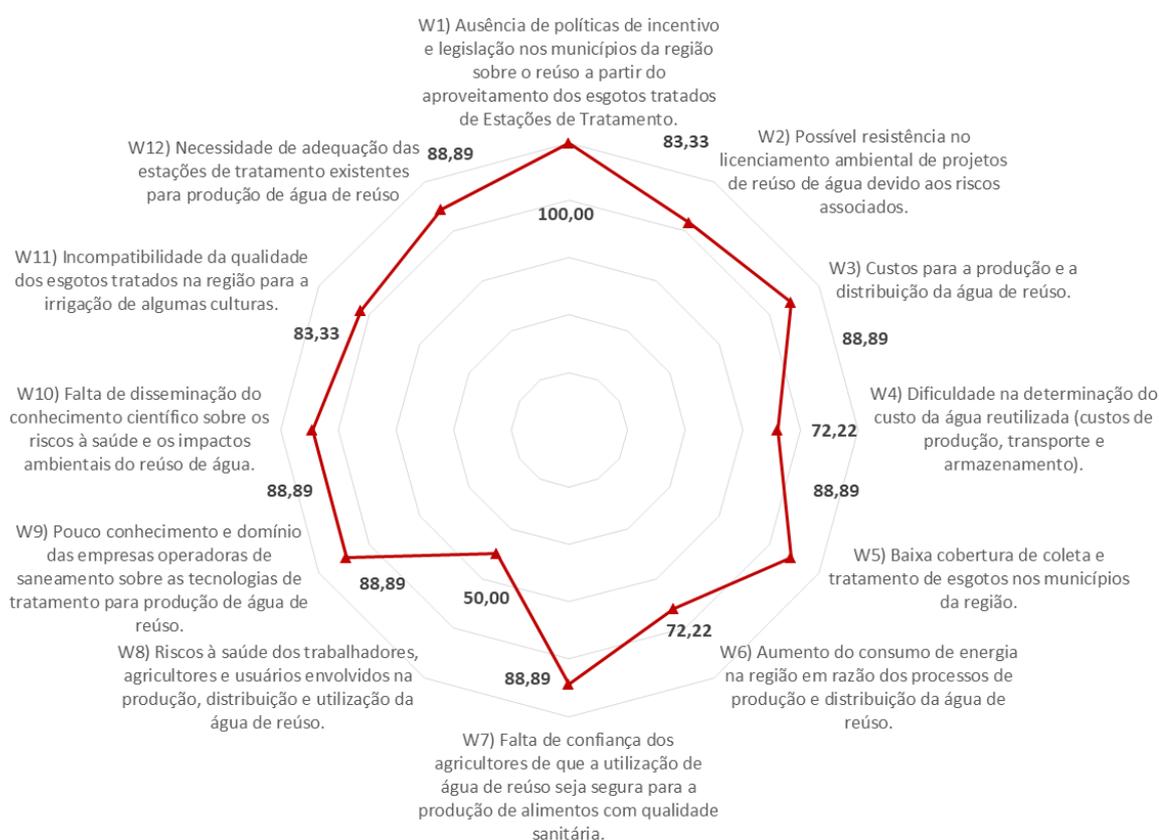
O aspecto W1 foi considerado muito relevante pelas partes interessadas, uma vez que remete à importância e à necessidade da adoção do reúso de água em um ambiente legal e regulatório adequado.

Nazari *et al.* (2018), em um estudo envolvendo a análise SWOT/PESTLE para a avaliação do reúso da água no Irã, também observaram resultados semelhantes. De acordo com esses autores, a ausência de instituições voltadas à gestão do setor, bem como a regulamentação e a fiscalização escassas, é vista como um ponto fraco relevante no contexto do reúso da água.

Os resultados apresentados por Pérez e Berbel (2020) na utilização da análise SWOT para a análise da percepção sobre o reúso agrícola em oito países da União Europeia igualmente indicaram como pontos fracos: o elevado custo percebido pelos agricultores para a água de reúso; a visão dos consumidores de risco sanitário para as culturas irrigadas; e a necessidade de implantação do quadro regulamentar global.

A Figura 36 elenca os aspectos considerados como pontos fracos pelas partes interessadas.

Figura 36 – Pontos fracos para o reúso de água na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5.3 Oportunidades

Já no que tange aos aspectos avaliados como oportunidades para a realidade da RH10/SC, todos foram classificados como relevantes, sendo o O9 muito relevante; este se refere à necessidade de um melhor nível de tratamento das

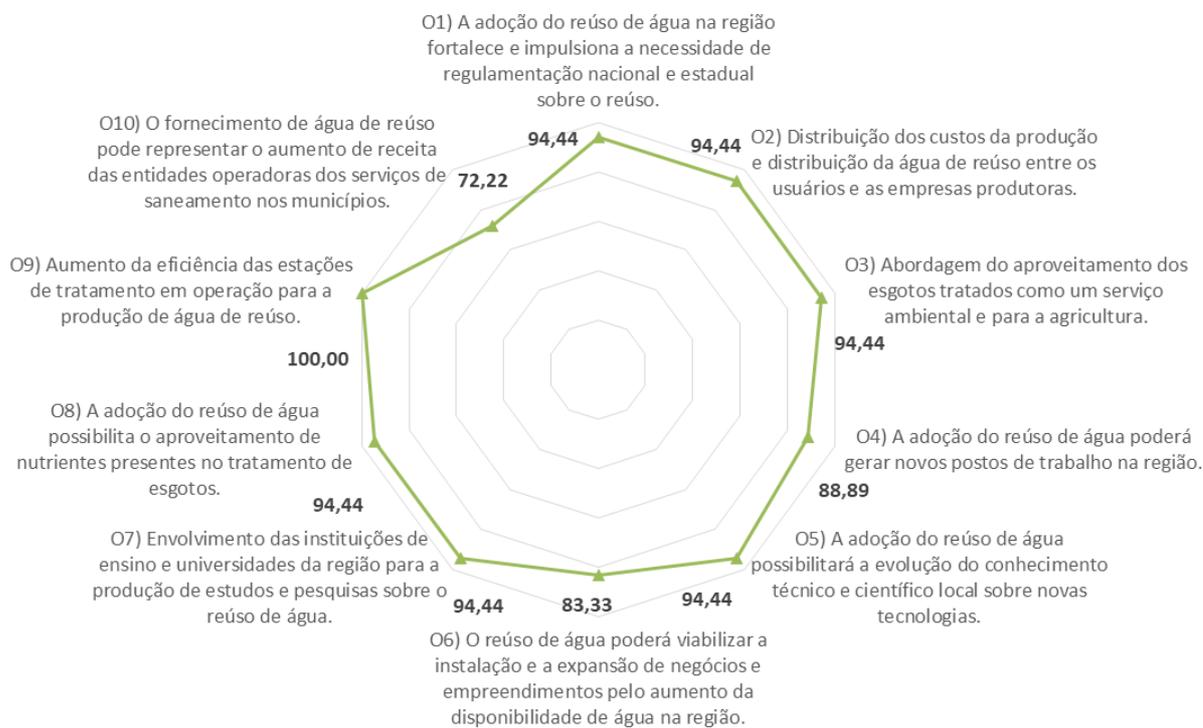
ETEs para a disponibilização da água de reúso, o que implica também a melhor qualidade dos efluentes dispostos no meio ambiente.

Winker *et al.* (2020) identificaram a qualidade dos efluentes tratados nas ETEs e a proteção ambiental como aspectos vistos como oportunidades na análise SWOT realizada em um estudo-piloto para a aplicação da água de reúso na Alemanha.

A preocupação com a escassez de água e o menor custo da água de reúso em relação à água potável também foram constatadas como oportunidades no estudo realizado por Canaj e Mehmeti (2024), que utilizaram a análise SWOT para avaliar as oportunidades e barreiras da reutilização de águas residuais para fins agrícolas na região da Apúlia, no sul da Itália.

A Figura 37 apresenta os aspectos considerados como oportunidades pelas partes interessadas.

Figura 37 – Oportunidades para o reúso de água na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5.4 Ameaças

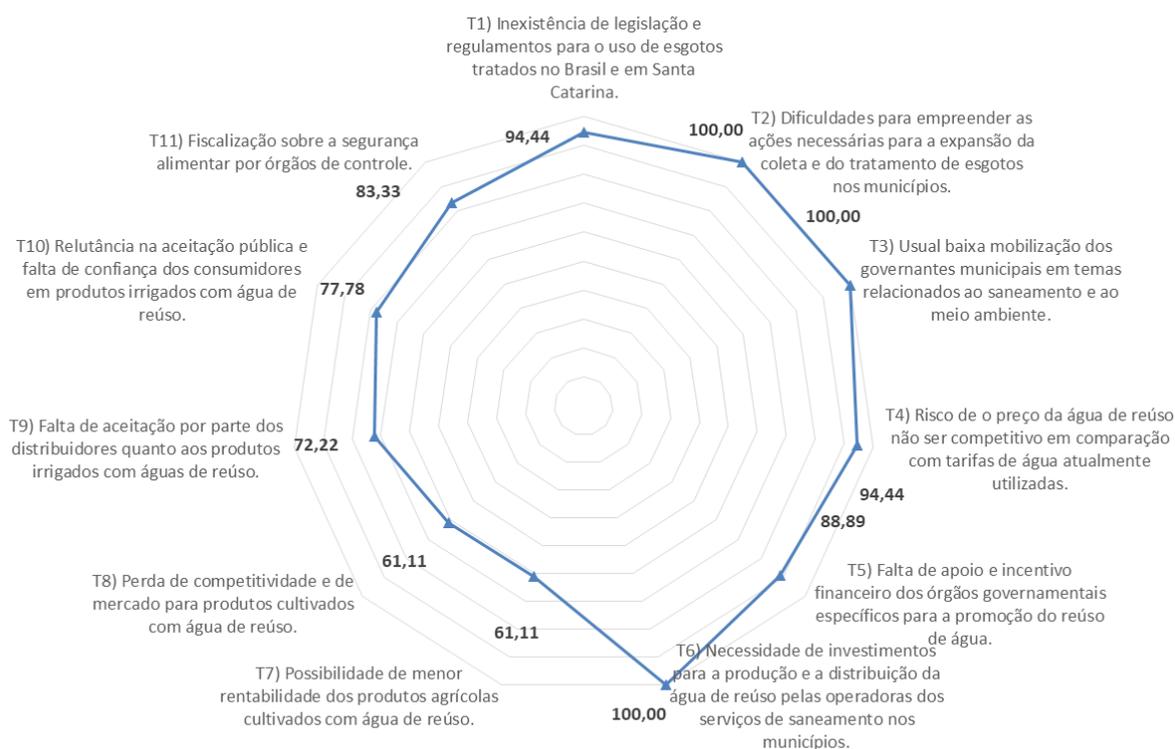
Por fim, entre os aspectos avaliados como ameaças ao reúso de água na RH10/SC, somente o T12 – “Impacto na produtividade do solo e no rendimento de culturas irrigadas com água de reúso” – foi avaliado como pouco relevante.

Em especial os aspectos T2, T3 e T6 foram considerados muito relevantes e têm relação com as dificuldades já vivenciadas na região para o avanço da implantação dos sistemas de esgotamento sanitário. Historicamente na região, o saneamento não vem sendo colocado como prioridade pelos governantes municipais, e, somada a isso, a insuficiência de recursos públicos para obras de saneamento explica a baixa cobertura de esgotamento sanitário da região.

Mainali *et al.* (2011), Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) e Pérez e Berbel (2020) utilizaram a análise SWOT para auxiliar na identificação dos aspectos críticos para a implantação bem-sucedida da reutilização de água em diferentes países e verificaram como ameaças: a desconfiança da população em relação à qualidade da água; e preocupações com questões de saúde, que criam um ambiente de desconfiança e resistência à utilização da água de reúso.

A Figura 38 apresenta os aspectos considerados como ameaças pelas partes interessadas.

Figura 38 – Ameaças ao reúso de água na RH10/SC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sob as perspectivas da análise PESTLE, não se verificou nenhum ponto forte ou ameaça sob a perspectiva tecnológica, sendo as perspectivas econômica e ambiental as que apresentaram mais aspectos como pontos fortes.

As perspectivas econômica e tecnológica abrangeram maior número de fatores considerados como pontos fracos. Por outro lado, a econômica foi a que englobou mais oportunidades, muito em relação ao potencial que o reúso de água tem de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico da região. Já os elementos identificados como ameaças foram vistos como mais relevantes sob as perspectivas política e econômica.

Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos obtidos por Mainali *et al.* (2011), Pérez e Berbel (2020), SUWANU EUROPE (2021b), Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) e Canaj e Mehmeti (2024), evidenciando que, mesmo nos países desenvolvidos, a percepção dos atores locais quanto ao reúso de água se mostrou próxima à obtida no Brasil, ainda um país em desenvolvimento, com grande carência de infraestrutura de saneamento.

A Tabela 31 lista os resultados obtidos na análise SWOT da RH10/SC em comparação com estudos realizados em outros países.

Tabela 31 – Resultados da análise SWOT realizada em outros países

Resultados da análise SWOT	Pontos fortes	Pontos fracos	Oportunidades	Ameaças
Brasil (Santa Catarina)	3,83	3,73	4,06	3,76
Itália (Apúlia)	4,21	2,80	4,20	3,21
Bélgica (Limburgo)	3,75	4,19	4,04	4,02
Bulgária (Plovdiv)	2,73	3,16	3,14	3,13
Alemanha (Brunsvique)	3,58	3,03	3,57	3,21
Grécia (Tessalônica)	3,48	3,23	3,14	3,28
Portugal (Alentejo)	4,25	3,86	3,55	3,94
França (Occitânia)	2,92	2,29	2,44	2,44
Espanha (Andaluzia)	3,90	3,80	3,90	3,80
Irã (Sabzevar)	2,70	2,60	3,00	2,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da verificação e da avaliação dos resultados obtidos, os aspectos considerados relevantes pelas partes interessadas compõem a matriz SWOT/PESTEL para a RH10/SC, conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 32 – Matriz SWOT/PESTLE com os aspectos relevantes da RH10/SC considerados pelas partes interessadas

(continua)

SWOT/PESTEL	AMBIENTE INTERNO		AMBIENTE EXTERNO	
	PONTOS FORTES	PORTOS FRACOS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
ASPECTOS POLÍTICOS	S1) O reúso de água é uma das alternativas apresentadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos/SC para reverter o cenário de vulnerabilidade hídrica da região.	W1) Ausência de políticas de incentivo e legislação nos municípios da região sobre o reúso a partir do aproveitamento dos esgotos tratados de Estações de Tratamento. W2) Possível resistência no licenciamento ambiental de projetos de reúso de água devido aos riscos associados.	O1) A adoção do reúso de água na região fortalece e impulsiona a necessidade de regulamentação nacional e estadual sobre o reúso.	T1) Inexistência de legislação e regulamentos para o uso de esgotos tratados no Brasil e em Santa Catarina. T2) Dificuldades para empreender as ações necessárias para a expansão da coleta e tratamento de esgotos nos municípios. T3) Usual baixa mobilização dos governantes municipais em temas relacionados ao saneamento e meio ambiente. T11) Fiscalização sobre a segurança alimentar por órgãos de controle.
	S2) O reúso de água contribui com a manutenção e ampliação das atividades econômicas e indústrias da região pela garantia da disponibilidade de água para os negócios.	W3) Custos para a produção e distribuição da água de reúso.	O2) Distribuição dos custos da produção e distribuição da água de reúso entre os usuários e as empresas produtoras.	T4) Risco de o preço da água de reúso não ser competitivo em comparação com tarifas de água atualmente utilizadas.
ASPECTOS ECONÔMICOS	S7) Proximidade de indústrias e áreas de cultivo agrícola com estações de tratamento de esgotos.	W4) Dificuldade na determinação do custo da água reutilizada (custos de produção, transporte e armazenamento). W6) Aumento do consumo de energia na região em função dos processos de produção e distribuição da água de reúso.	O3) Abordagem do aproveitamento dos esgotos tratados como um serviço ambiental e para a agricultura. O6) O reúso de água poderá viabilizar a instalação e expansão de negócios e empreendimentos pelo aumento da disponibilidade de água na região. O10) O fornecimento de água de reúso pode representar no aumento de receita das entidades operadoras dos serviços de saneamento nos municípios.	T5) Falta de apoio e incentivo financeiro dos órgãos governamentais específicas para a promoção do reúso de água. T6) Necessidade de investimentos para a produção e distribuição da água de reúso pelas operadoras dos serviços de saneamento nos municípios. T7) Possibilidade de menor rentabilidade dos produtos agrícolas cultivados com água de reúso. T8) Perda de competitividade e mercado de produtos cultivados com água de reúso.

Tabela 32 – Matriz SWOT/PESTLE com os aspectos relevantes da RH10/SC considerados pelas partes interessadas
(conclusão)

SWOT/PESTEL	AMBIENTE INTERNO		AMBIENTE EXTERNO	
	PONTOS FORTES	PORTOS FRACOS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
ASPECTOS SOCIAIS	S4) O reúso de água contribui para o aumento da conscientização das pessoas sobre a necessidade de preservação dos recursos naturais.	W7) Falta de confiança dos agricultores que a utilização de água de reúso é segura para a produção de alimentos com qualidade sanitária.	O4) A adoção do reúso de água poderá gerar novos postos de trabalho na região.	T9) Falta de aceitação de produtos irrigados com águas de reúso pelos distribuidores.
			O7) Envolvimento das instituições de ensino e universidades da região para a produção de estudos e pesquisas sobre o reúso de água.	T10) Relutância na aceitação pública e falta de confiança dos consumidores com produtos irrigados com água de reúso.
ASPECTOS TECNOLÓGICOS	-	W9) Pouco conhecimento e domínio das empresas operadoras de saneamento sobre as tecnologias de tratamento para produção de água de reúso.	O5) A adoção do reúso de água possibilitará a evolução do conhecimento técnico e científico local sobre novas tecnologias.	-
		W11) Incompatibilidade da qualidade dos esgotos tratados na região para irrigação em algumas culturas.		
		W12) Necessidade de adequação das estações de tratamento existentes para produção de água de reúso		
ASPECTOS AMBIENTAIS	S3) A irrigação com água de reúso possibilita o aumento da contribuição de nutrientes para as culturas agrícolas.	W5) Baixa cobertura de coleta e tratamento de esgotos nos municípios da região.	O8) A adoção do reúso de água possibilita o aproveitamento de nutrientes presentes no tratamento de esgotos.	
	S5) O reúso de água contribui para uma maior disponibilidade de água nos mananciais.	W10) Falta de disseminação do conhecimento científico sobre os riscos à saúde e impactos ambientais do reúso de água.	O9) Aumento da eficiência das estações de tratamento em operação para a produção de água de reúso.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste capítulo, foi apresentado a percepção e os desafios na RH10/SC para o reúso de água na visão das partes interessadas, que incluiu inicialmente a identificação dos aspectos com influência no reúso de água na região, a identificação e seleção das instituições reconhecidas como partes interessadas e a aplicação de questionários com as partes interessadas para verificação dos pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças na região sob as perspectivas políticas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais.

A matriz SWOT/PESTLE apresentada na Tabela 32 demonstra as potencialidades e desafios frente a perspectiva do reúso de água na região RH10/SC na visão das partes interessadas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, serão abordadas as principais conclusões da pesquisa e apresentadas recomendações para trabalhos futuros, a fim de aprofundar ou complementar os resultados da tese.

7.1 CONCLUSÕES GERAIS

A partir das hipóteses e objetivos estabelecidos, a pesquisa foi desenvolvida com base numa fundamentação teórica elaborada após uma revisão sistemática integrativa da literatura e através de metodologia próprias para cada etapa do trabalho. Concluída a apresentação dos resultados, a seguir serão indicadas as conclusões para cada objetivo proposto e as considerações gerais.

7.1.1 Objetivo a) Verificar, com base na literatura, as etapas que envolvem o desenvolvimento do planejamento estratégico para o reúso de água

Como verificado na fundamentação teórica, o reúso de água tem larga aplicação em todo o mundo. Em especial nos países desenvolvidos, devido ao maior nível de desenvolvimento, o reúso é praticado por meio de uma governança apoiada em instrumentos regulatórios, construídos com base na evolução das pesquisas e das aplicações práticas e de um planejamento prévio

Assim, foram encontradas, para a revisão bibliográfica, diferentes pesquisas e publicações de instituições internacionais sobre as etapas usualmente envolvidas no desenvolvimento de um planejamento voltado para o reúso de água. Entre essas etapas, estão: o conhecimento das características e particularidades regionais relacionadas ao clima; a ocorrência de eventos hidrológicos extremos; a demografia e a dinâmica populacional; as atividades econômicas; a infraestrutura de saneamento e os usos e consumos de água; o conhecimento sobre os recursos hídricos e a sua gestão na região; a identificação dos fatores impulsionadores da demanda hídrica; a avaliação da potencialidade da região a partir das ETEs; os estudos de alternativas para distribuição e fornecimento da água de reúso; a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômico-financeira; a proposição de diretrizes e planos de ação.

O envolvimento das partes interessadas é etapa fundamental para o planejamento do reúso, conforme verificado nos estudos realizados em outros países, confirmando a **hipótese a)** da pesquisa.

7.1.2 Objetivo b) Selecionar e caracterizar região para estudo de caso

A Região Hidrográfica 10 do Extremo Sul Catarinense foi selecionada para o desenvolvimento da pesquisa por apresentar diferentes fatores de indução que sugerem o reúso de água. Para a seleção da região, uma pesquisa foi realizada no contexto do estado de Santa Catarina, a partir das informações do Plano Estadual de Recursos Hídricos, elaborado em 2017.

A RH10/SC está localizada no extremo sul de Santa Catarina e possui uma área total de aproximadamente 4.992 km², englobando a área total ou parcial de 29 municípios e uma população de 677.030 habitantes. Em termos de cobertura do esgotamento sanitário na região, as formas de atendimento predominantes atualmente são as fossas sépticas, com 59,34%, e as redes públicas de coleta e tratamento, com 37,36%. Para um cenário tendencial futuro, com a vigência da Lei Federal nº 14.026/2020, se espera a ampliação da cobertura das redes de coleta e tratamento, visando à universalização do esgotamento na região, ampliando assim o potencial para a produção de água de reúso.

Para suprir as diferentes modalidades de uso de água, atualmente o balanço hídrico qualiquantitativo da região já aponta para um cenário de vulnerabilidade. As altas demandas de água para a irrigação – maior consumidora de água da região, em especial para o cultivo do arroz, sua principal cultura – são superiores à disponibilidade hídrica superficial, e esse cenário tende a se agravar com o aumento da demanda decorrente do crescimento populacional.

Em 2027, espera-se que a demanda hídrica de retirada na RH10/SC atinja aproximadamente 33,27 m³/s, sendo o setor de irrigação o que apresenta maior exigência, com 18,33 m³/s, o que representa cerca de 45% da necessidade total; deste, cerca de 98% da água é consumida ao longo do processo de cultivo (PERH/SC, 2017).

Entre as bacias hidrográficas que compõem a RH10/SC, a do Rio Araranguá é a maior consumidora de água, com 76% do volume total consumido na região.

Essa maior demanda se justifica pelo fato de a bacia concentrar os municípios mais populosos da RH, como Criciúma, Araranguá e Içara, que sozinhos abrangem 52% da população.

7.1.3 Objetivo c) Verificar as potencialidades da RH10/SC para o reúso de água não potável

A Região Hidrográfica 10 do Extremo Sul Catarinense foi selecionada para o desenvolvimento da pesquisa por apresentar diferentes fatores de indução que sugerem o reúso de água. Para a seleção da região, uma pesquisa foi realizada no contexto do estado de Santa Catarina, a partir das informações do Plano Estadual de Recursos Hídricos, elaborado em 2017.

O potencial de produção foi verificado a partir das informações obtidas das nove ETEs em operação na região. O cenário tendencial considera o atendimento de 90% da população urbana com coleta e tratamento de efluentes até 2033, ano estabelecido como meta pela lei nacional do saneamento.

No cenário atual, se observam um baixo índice de coleta e tratamento de efluentes na região (37%) e a predominância da fossa séptica como solução de tratamento individual. Nesse panorama, foi constatado que o potencial em termos quantitativos dos efluentes tratados para reúso consistiria em 267 L/s, sendo a Bacia do Rio Araranguá a que apresenta a maior capacidade, com 259 L/s, por abranger municípios que possuem sete das nove ETEs em operação.

No cenário tendencial, o potencial de produção de água de reúso vinda das ETEs aumenta para 1.105 L/s, e permanece a Bacia do Rio Araranguá como a de maior potencial, com 71% do volume produzido, por concentrar os municípios mais populosos da região.

A partir da avaliação quantitativa, se verificou que a RH10/SC possui capacidade de produção de água de reúso oriunda das ETEs, tanto no cenário atual como no cenário futuro, suficiente para o atendimento da totalidade das demandas de consumo de água no uso industrial e na criação animal. A Bacia do Rio Araranguá tem a maior área de abrangência e os municípios mais populosos; por essa razão, demonstrou o maior potencial de produção de água de reúso.

Poderá suprir 7 % da demanda de consumo de água para a irrigação no cenário tendencial, evidenciando a contribuição importante do reúso para atenuar o

cenário de vulnerabilidade hídrica da região, sendo essa uma das hipóteses admitidas nessa pesquisa – **hipótese d)**.

Ainda assim, considerando-se a proposta do CNRH (2022), a irrigação se mostra inviável para a cultura do arroz, que predomina na região e é responsável pela maior demanda de água. Na cultura do arroz irrigado, o solo e a planta permanecem submersos, em contato com a água na maior parte do ciclo de crescimento da planta, sendo drenado pouco tempo antes da colheita .

Já no que se refere ao emprego da água de reúso para fins industriais e para a criação animal, como esses usos não estão contemplados na proposta do CNRH (2022), fica o reúso condicionado à análise da legislação aplicável relacionada a essas atividades.

Assim, as modalidades com potencial para o reúso na RH10/SC seriam a urbano restrito, a ambiental, a aquicultura e a agrícola restrito, somente para as culturas que passam por processamento e/ou que a parte comestível não apresenta contato com o efluente tratado, como fumo, feijão, milho e banana.

7.1.4 Objetivo d) Verificar a percepção local e os desafios para o reúso de água não potável na RH10/SC

O resultado da análise SWOT/PESTLE, realizada com a participação das partes interessadas da região, possibilitou o conhecimento da percepção local e dos desafios mais relevantes no contexto da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água.

Entre os fatores avaliados como pontos fortes foi verificado o potencial do reúso de contribuir para a conscientização ambiental da população e para a continuidade das atividades econômicas da região, sendo essa uma das hipóteses da pesquisa – **hipótese c)**.

Como ponto fraco mais significativo, destacou-se a ausência de um ambiente legal adequado devido à falta de regulamentação em nível estadual e federal. Os riscos à saúde dos trabalhadores, agricultores e usuários envolvidos com o reúso foi avaliado com pouca relevância com um ponto fraco pelas partes interessadas, não confirmando a **hipótese b)** admitida para essa pesquisa.

A necessidade de um melhor nível de tratamento das ETEs para a disponibilização da água de reúso e a disposição no meio ambiente foi considerada como uma oportunidade muito importante pelas partes interessadas, assim como a possibilidade de envolvimento das instituições de ensino e universidades da região para a produção de estudos e pesquisas sobre o reúso de água, fomentando a evolução do conhecimento técnico e científico local.

Já o impacto na produtividade do solo e no rendimento de culturas irrigadas com água de reúso foi avaliado como uma ameaça pouco relevante, enquanto as dificuldades já vivenciadas na região para o avanço da implantação dos sistemas de esgotamento sanitário foram consideradas muito expressivas.

Sob as perspectivas da análise PESTLE, não se verificou nenhum ponto forte ou ameaça sob a perspectiva tecnológica, sendo as perspectivas econômica e ambiental as que apresentaram mais aspectos como pontos fortes.

As perspectivas econômica e tecnológica abrangeram maior número de fatores considerados como pontos fracos. Por outro lado, a econômica foi a que englobou mais oportunidades, muito em relação ao potencial que o reúso de água tem de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico da região. Já os elementos identificados como ameaças foram vistos como mais relevantes sob as perspectivas política e econômica.

7.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que a adoção do reúso de água a partir das Estações de Tratamento de Efluentes já seja reconhecida como uma boa prática e uma alternativa para minimizar os efeitos adversos da escassez hídrica, é fundamental que a sua adoção seja realizada de forma planejada e segura.

Um maior potencial para a produção de água de reúso na RH10/SC foi verificado para o cenário tendencial em virtude do baixo índice de coleta e tratamento de efluentes na região (37%) observado no cenário atual e pela necessidade de os municípios alcançarem a universalização da coleta e tratamento de esgotos até 2033 conforme a legislação nacional. Em ambos os cenários a Bacia do Rio Araranguá foi a que mostrou maior potencial por concentrar os municípios mais populosos da região.

A análise SWOT/PESTLE realizada para a avaliação da percepção local e os desafios frente a perspectiva do reúso de água, possibilitou o conhecimento dos aspectos considerados mais relevantes no contexto dos ambientes internos e externos da RH10/SC pelas partes interessadas.

Embora existam barreiras consideráveis para o reúso de água na região, como lacunas legislativas e desafios financeiros, há um cenário promissor para a sua implantação. O fortalecimento da regulamentação e o engajamento das partes interessadas locais, incluindo governos e universidades, são essenciais para superar os pontos fracos e ameaças identificados.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que o envolvimento das partes interessadas e o uso de conceitos, ferramentas e métodos apropriados são fundamentais para um melhor conhecimento das características regionais e são determinantes para a avaliação da potencialidade regional para o reúso de água.

As metodologias utilizadas nesta pesquisa que já foram aplicadas em países desenvolvidos, também se revelaram adequadas para aplicação em outras regiões em países ainda em desenvolvimento, com carência de infraestrutura de saneamento e escassez de recursos hídricos, como em algumas regiões do Brasil.

7.3 RECOMENDAÇÕES

Considerando-se os resultados desta pesquisa e as etapas que envolvem o desenvolvimento de um planejamento regional voltado ao reúso de água, apresentam-se como recomendações para trabalhos futuros outros relevantes estudos e avaliações:

- i. Realizar estudo de alternativas técnicas e logísticas para a distribuição da água de reúso a partir das ETEs.
 - ii. Fazer um levantamento de custos envolvidos para a produção e a distribuição da água de reúso.
 - iii. Desenvolver estudo de viabilidade econômico-financeira e tarifário.
 - iv. Mapear os riscos associados às modalidades aptas ao reúso.
 - v. Propor metodologia para o estabelecimento de iniciativas estratégicas e um plano de ação com o envolvimento das partes interessadas para a implantação do reúso.
- Implantar projeto-piloto.

REFERÊNCIAS

ÁGUA & EFLUENTES. Disponível em: <https://www.aguaeefluentes.com.br/post/ore%C3%BAso-de-%C3%A1gua-%C3%A9-regulamentado-no-brasil-1>. Acesso em: 26 nov. 2024.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Eventos hidrológicos críticos**. Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos: SNIRH, Brasília, [20--?]. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh-1/aceso-tematico/eventos-hidrologicos-criticos>. Acesso em: 12 out. 2022.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Esgotos**: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Brasília, DF: ANA, 2020.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório Pleno, Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021**. [S. l.]: ANA, 2021. Disponível em: <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>. Acesso em: 12 out. 2022.

ANGELAKIS, A. N. *et al.* Water reuse: from ancient to modern times and the future. **Frontiers in Environmental Science**, [s. l.], v. 6, art. 26, p.1-17, 2018.

ASANO, T.; MILLS, R. A. Planning and analysis for water reuse projects. **Management & Operations – Journal AWWA**, [s. l.], v. 82, n. 1, p. 38-47, jan. 1990.

BATTISTELLI, A. A. **Eletrobiorreator a membrana aplicado ao tratamento de efluentes sanitários objetivando a remoção de nutrientes e o controle da colmatação**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BELLI, T. J. *et al.* Total nitrogen removal in membrane sequencing batch bioreactor treating domestic wastewater. **Acta Scientiarum Technology**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 221-227, 2014a.

BELLI, T. J. *et al.* Biological nutrient removal in a sequencing batch membrane bioreactor treating municipal wastewater. **Desalination and Water Treatment**, [s. l.], v. 55, n. 6, p. 1654-1661, 2014b.

BELLI, T. J. *et al.* Effect of solids retention time on nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater in a sequencing batch membrane bioreactor. **Environmental Technology**, [s. l.], v. 38, n. 7, p. 806-815, 2016.

BLANCO-GUTIÉRREZ, I. *et al.* RECLAMO: Unlocking the potential of wastewater reuse for agricultural irrigation in Spain. **Research Ideas and Outcomes** 7, e. 76793, p.1-26, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes

ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. [s. l.]: CONAMA, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 24 out. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 [...]. Brasília: Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 24 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico temático [dos] serviços de água e esgoto – 2020**. Brasília: SNS, 2022.

BUY R. Critical examination of the PESTLE Analysis Model. 9. 1-11, 2021. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=ptBR&as_sdt=0%2C5&q=pestle+analysis+theory&oq=. Acesso em: 09 abril. 2025.

CAMPELLO, F. **Nitrificação e pré-desnitrificação em sistema de tratamento de esgoto sanitário utilizando biorreator à membrana submersa visando reúso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CANAJ, K.; NEHMETI A. Unveiling drivers and barriers in advancing agricultural wastewater reuse in Southern Italy: a SWOT analysis informed by stakeholder insights. **Cleaner Water**, [s. l.], v. 1, p. 1-9, 2024.

CECATO, L. D. **Avaliação econômica de um biorreator a membrana aplicado ao tratamento de esgotos sanitários visando o reúso de águas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

CADLE J.; PAUL D.; TURNER P. **Business Analysis Techniques - 72 Essential Tools for Success**. BCS The Chartered Institute for IT. p. 1-13, United Kingdom, 2010.

CEPED/UFSC – CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES/UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais – 1991 a 2012**. 2. ed. Cidade da publicação: Editora, 2013.

COSTA, R. E. *et al.* Assessing the performance and microbial community of hybrid moving bed and conventional membrane bioreactors treating municipal wastewater. **Environmental Technology**, [s. l.], v. 40, n. 6, p. 716-729, 2017.

COSTA, R. E. *et al.* Comparative study on treatment performance, membrane fouling, and microbial community profile between conventional and hybrid

sequencing batch membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 25, n. 32, p. 32767-32782, 2018.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **SIAGAS Web**. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acesso em: 10 mar. 2022.

DAMANIA, R. *et al.* **Quality unknown: the invisible water crisis**. Washington, DC: World Bank Group, 2019. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32245/9781464814594.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. Acesso em: 10 out. 2022.

DWR – DEPARTMENT OF WATER RESOURCES. **California Water Plan Update**. Califórnia, USA: Department of Water Resources, 2013.

EMBASA – EMPRESA BAIANA DE SANEAMENTO. https://www.embasa.ba.gov.br/web/guest/w/estudo-da-embasa-aponta-potencial-de-reuso-de-efluente-tratado-para-agricultura-e-industria?p_l_back_url=https%3A%2F%2Fwww.embasa.ba.gov.br%2Fconteudo-multimedia%2Fnoticias. Acesso: 06 jul. de 2023.

ENGELBERT, S.; DENNIS, B.; MICHAELA, F. Advanced processed wastewater for different uses: constellations favouring future implementation of a multimodal water reuse concept. **Journal of Water Reuse and Desalination**, [s. l.], v. 10.4, p. 284-300, 2020.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Water Reuse Action Plan**. v. 1, 2020.

Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-02/documents/national-water-reuse-action-plan-collaborative-implementation-version-1.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Maps of states with water reuse regulations or guidelines. **EPA**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/waterreuse/maps-states-water-reuse-regulations-or-guidelines>. Acesso em: 15 ago. 2022.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS. **AQUASTAT Main Database**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>. Acesso em: 24 out. 2024.

FERNANDES, D. R. Uma visão sobre a análise da matriz SWOT como ferramenta para elaboração da estratégia. **UNOPAR Cient., Ciênc. Juríd. Empres.**, Londrina, v. 13, n. 2, p. 57-68, 2012.

FLORIANÓPOLIS. **Lei nº 8.080, de 9 de novembro de 2009**. Institui programa municipal de conservação, uso racional e reuso da água em edificações e dá outras providências. Florianópolis: Prefeitura Municipal, 2009. Disponível em:

<https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-ordinaria/2009/808/8080/lei-ordinaria-n-8080-2009-institui-programa-municipal-de-conservacao-uso-racional-e-reuso-da-agua-em-edificacoes-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 24 out. 2024.

GWR – GLOBAL WATER REPORT. **A wave of change**: the role of companies in building a water-secure world. [S. l.]: GWR, 2020. Disponível em: <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-water-report-2020>. Acesso em: 10 jan. 2023.

HAJKOWICZ, S.; HIGGINS, A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 184, p. 255-265, 2008.

HALL, N. L. *ET AL.* Water and health interlinkages of the sustainable development goals in remote indigenous Australia. **Clean Water**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 1-7, 2020.

HASSEMER, M. E. N. **Oxidação fotoquímica – UV/H₂O₂ – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. [S. l.]: IBGE, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 3 mar. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. 2016. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 fev. 2016.

INTERÁGUAS. **Elaboração de proposta do plano de ação para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil**. Produto II – Experiências de Reúso. São Paulo: Ministério das Cidades; Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, 2017a.

INTERÁGUAS. **Elaboração de proposta do plano de ação para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil**. Produto IV – Avaliação do Potencial de Reúso. São Paulo: Ministério das Cidades; Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, 2017b.

JEONG, H. *et al.*, Classification of Wastewater Reuse for Agriculture: A Case Study in South Korea. *Irrigation and Drainage*, [s. 2.], v. 65, p. 76-85, 2016.

JONES, E. R. *et al.* Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. **Earth System Science Data**, [s. l.], v. 13, p. 237-254, 2021.

LAPOLLI, C. P. **Estratégias para a concepção de competências essenciais à luz do sistemismo no contexto da Indústria 4.0**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

LEARNED, E. P. *et al.* **Business policy: text and cases**. 5. ed. Irwin: Homewood, 1982.

LIMA, M. A. M. *et al.* Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply**, [s. 6.], v. 21, p. 2799-2810, 2020.

LIU, X. *et al.* Membrane technology for rainwater treatment and reuse: a mini review. **Water Cycle**, [s. 1.], v. 2, p. 51-63, 2021.

LOZANO, M.; VALLES, J. An analysis of the implementation of an environmental management system in a local public administration. **Journal of Environmental Management**, [s. 1.], v. 82, p. 495-511, 2007.

MAESTRI, R. S. **Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reúso de água**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAINALI, B. *et al.* SWOT analysis to assist identification of the critical factors for the successful implementation of water reuse schemes. **Desalination Water Treatment**, [s. 1.], v. 32, p. 297-306, 2011.

MANNINA, G.; GULHAN, H.; NI, B. J. Water reuse from wastewater treatment: the transition towards circular economy in the water sector. **Bioresource Technology**, [s. 1.], v. 363, p. 127951, 2022.

MARIN, P. *et al.* **Water management in Israel: key innovations and lessons learned for water scarce countries**. Washington, DC: World Bank, 2017.

METCALF & EDDY/AECOM. **Water reuse: issues, technologies, and applications**. Nova Iorque, USA: McGraw Hill, 2007.

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **DAE**, [s. 1.], v. 67, n. 215, p. 40-65, 2019.

MOURA, P. G. *et al.* Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. 1.], v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020.

NAZARI, B. *et al.* Irrigation water management in Iran: implications for water use efficiency improvement. *Agricultural Water Management*, [s. 1.], v. 208, p. 7-18, 2018.

NIKOLAOU, I. E.; EVANGELINOS, K. I. A SWOT analysis of environmental management practices in Greek mining and mineral industry. **Resource Policy**, [s. 1.], v. 35, p. 226-234, 2010.

NORTON-BRANDÃO, D.; SCHERRENBURG S. M.; VAN LIER J. B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes a review of treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, [s. 1.], v. 122, p. 85-98, 2013.

NOURBAKHS, S. A.; HASSANPOUR DARVISHI, H.; EBRAHIMI, E. Analysis of domestic wastewater recycling methods for agricultural and irrigation uses using combined SWOT-QSPM model, case study: Sabzevar city treatment plant. **Iran-Water Resources Research**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 1-17, Spring 2022.

PÉREZ, E. M.; BERBEL, J. Analysis of barriers and opportunities for reclaimed wastewater use for agriculture in Europe. **Water**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 1-14, 2020.

PERH/SC – PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA CATARINA. Florianópolis: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável/Governo do Estado de Santa Catarina, 2017.

PROVENZI, G. **Biorreator à membrana submersa para tratamento biológico de efluentes**: estudos hidrodinâmicos e físico-químicos no controle da colmatação. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PURNELL, S. *et al.* Pathogen infection risk to recreational water users, associated with surface waters impacted by de facto and indirect potable reuse activities. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 722, p. 137799, 2020.

RAJASULOCHANA, P.; PREETHY, V. Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – a comprehensive review, **Resour.-Effic. Technol.**, [s. l.], v. 2, p. 175-184, 2016.

RASTOGI, N.; TRIVEDI, D. M. Pestle technique – a tool to identify external risks in construction projects. **Int. Res. J. Eng. Technol.**, [s. l.], v. 3, p. 384-388, 2016.

RAVADELLI, M. **Aplicação de eletrocoagulação em um biorreator a membrana precedido de tanque anóxico para o tratamento de efluente têxtil**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

RdA – REÚSO DE ÁGUA. Mapa esquemático do percentual de reúso de água em diferentes regiões do mundo. **Reúso de Água**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://reusodeagua.org/producao-de-dados/>. Acesso em: 15 set. 2022.

RIZZO, L. *et al.* Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater. **The Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 655, p. 986-1008, 2019.

RODRIGUES, E. B. **Utilização do biocarvão como meio filtrante de wetland construído vertical empregado no tratamento de esgoto sanitário**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

ROSSUM, T. V. Water reuse and recycling in Canada – history, current situation and future perspectives. **Water Cycle**, [s. l.], v. 1, p. 98-103, 2020.

SALGOT, M.; FOLCH, M. Wastewater treatment and water reuse. **Environmental Science & Health**, [s. l.], v. 2, p. 64-74, 2018.

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

SANTOS, A. S. P. *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**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 1-17, 2021.

SANTOS, A. S. P.; LIMA M. A. M. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. **Cadernos Técnicos Eng. Sanitária Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTYIA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. São Paulo: ABES, 2001.

SHOUSHTARIAN, F.; NEGAHBAN-AZAR, M. Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review. **Water**, [s. l.], v. 12, n. 971, p. 2-74, 2020.

SILVA JÚNIOR, L. C. S.; SALOMÃO, A. L. S.; SANTOS, A. S. P. MATTI – a multi-criteria decision analysis framework for assessing wastewater treatment technologies. **Water Science & Technology**, [s. l.], v. 86, n. 10, p. 2764, 2022.

SNIRH – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS. **Informações georreferenciadas de vazão de retirada total para usos: urbano, industrial, abastecimento rural, irrigação e dessedentação animal**. [S. l.]: SNIRH, 2016.

SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P. Priorização de água de reúso em bacias hidrográficas com base no planejamento de recursos hídricos: proposta metodológica e exemplos das bacias do rio Grande e do Piancó-Piranhas-Açu. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [s. l.], v. 9, n. 2 p. 111-125, 2021.

SONG, J.; SUN, Y.; JIN, L. PESTLE analysis of the development of the waste-to-energy incineration industry in China. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, [s. l.], v. 80, p. 276-289, 2017.

SOUZA, E. **Eletrobiorreator a membrana em batelada sequencial aplicado ao tratamento de efluente sintético simulando esgoto doméstico**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SOUZA, E. J. de *et al.* Níveis de adubação no cultivo de melancia irrigado com esgoto. **DAE**, [s. l.], v. 65, p. 94-106, set. 2017.

SRDJEVIC, Z.; BAJCETIC, R.; SRDJEVIC, B. Identifying the criteria set for multicriteria decision making based on SWOT/PESTLE analysis: A case study of reconstructing a water intake structure. **Water Resour. Manag.** 26, p. 3379–3393, 2012.

SUBTIL, E. L.; HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. Biorreatores com membranas submersas (BRMs): alternativa promissora para o tratamento de esgotos sanitários para reúso. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 1980-1993, 2013.

SUWANU EUROPE. SWOT and PEST analyses for implementation of reuse practices in Alentejo, Portugal. *In*: SUWANU EUROPE. **Deliverable 2.1**: report on SWOT & PEST for implementation of reuse practices. [S. l.]: SUWANU EUROPE, p. 1-14, 2021a.

SUWANU EUROPE. **Deliverable 2.6**: development of regional action plans for the fast implementation of water reuse to the 8 pilot regions of the SUWANU EUROPE Project. [S. l.]: SUWANU EUROPE, 2021b.

TAKEUCHI, H.; TANAKA, H. Water reuse and recycling in Japan-History, current situation, and future perspectives. **Water Cycle**, [s. l.], v. 1, p. 1-12, 2020.

TORJADA C. Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation Sustainable Development Goals. **Clean Water**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 1-6, 2020.

TRIVINOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa social qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 2002.

UE – UNIÃO EUROPEIA. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council. **Official Journal of the European Union**, [s. l.], 177, p. 32-55, 2020.

VARDOPOULOS *et al.* An Integrated SWOT-PESTLE-AHP Model Assessing Sustainability in Adaptive Reuse Projects. **Applied Science**, [s. l.], v. 15, p. 1-23, 2020.

VASILEVA, E. Application on the PEST analysis for strategic planning of regional development. 49th International Scientific Conference – Quantitative and Qualitative Analysis in Economics. Faculty of Economics, University of Niš, p.1-7, 2018.

VIANA, P. Z. Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro : COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2004. 162 p.

WARSINGER, D. M. *et al.* Approaches for the evaluation of future-oriented technologies and concepts in the field of water reuse and desalination. **Journal of Water Reuse and Desalination**, [s. l.], v. 10.4, p. 269-283, 2020.

WENCKI *et al.* Approaches for the evaluation of future-oriented technologies and concepts in the field of water reuse and desalination. **Journal of Water Reuse and Desalination**. [s. l.], v. 10, p. 1-16, 2020.

WFD – WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. Common implementation strategy for the water framework directive and the floods directive. *In*: WFD – WATER FRAMEWORK DIRECTIVE. **Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the WFD**. WFD Reporting Guidance 2016. Bélgica, p. 1-12, 2016.

WINKER, M. *et al.* Water reuse in hydroponic systems: a realistic future scenario for Germany? Facts and evidence gained during a transdisciplinary research project. **Journal of Water Reuse and Desalination**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 363-379, 2020.

APÊNDICE A – Resultado da revisão sistemática integrativa

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O resultado obtido do desenvolvimento de uma revisão sistemática integrativa da literatura pode ser entendido como a sintetização do conhecimento produzido sobre um objeto de estudo. Segundo Torracco (2005), é possível revisar, criticar e sintetizar a literatura existente, em que discussões podem ser feitas sobre o método aplicado, bem como sobre os resultados atingidos, o que pode estimular o surgimento de novas pesquisas e descobertas a partir das já existentes. Pompeo, Rossi e Galvão (2009, p. 435) definem a revisão sistemática integrativa como:

um método de revisão mais amplo, pois permite incluir literatura teórica e empírica bem como estudos com diferentes abordagens metodológicas (quantitativa e qualitativa). Este método tem como principal finalidade reunir e sintetizar os estudos realizados sobre um determinado assunto, construindo uma conclusão, a partir dos resultados evidenciados em cada estudo, mas que investiguem problemas idênticos ou similares. Os estudos incluídos na revisão são analisados de forma sistemática em relação aos seus objetivos, materiais e métodos, permitindo que o leitor analise o conhecimento pré-existente sobre o tema investigado.

Assim, esta revisão sistemática integrativa da literatura visa a identificar as evidências relacionadas aos construtos “reuso de água”, “escassez hídrica”, “sustentabilidade” e “planejamento”. Tais evidências contribuem de forma significativa para o desenvolvimento da fundamentação teórica desta tese.

2 DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO SISTEMÁTICA INTEGRATIVA

A elaboração de um protocolo que contemple padrões metodológicos é essencial para garantir que todas as atividades envolvidas no desenvolvimento de uma revisão sistemática integrativa da literatura sejam realizadas. Para este estudo, utilizou-se um protocolo com três etapas distintas (Quadro 1).

Quadro 1 – Protocolo da revisão sistemática integrativa da literatura

<p>Etapa 1: Preparação</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Definição da questão de pesquisa. 2) Definição dos descritores. 3) Definição dos critérios de inclusão/exclusão. 4) Definição das bases de dados. 5) Definição das expressões de busca.
<p>Etapa 2: Realização das buscas nas bases de consultas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Busca primária de registros nas bases de dados. 2) Identificação dos registros pré-selecionados.
<p>Etapa 3: Análise dos registros pré-selecionados e selecionados</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Leitura de título, resumo e palavras-chave dos registros pré-selecionados. 2) Verificação da aderência dos registros pré-selecionados ao objeto de estudo desta tese. 3) Leitura na íntegra dos registros selecionados.

Fonte: Elaborado pelo autor. com base em Botelho, Cunha e Macedo (2011).

2.1 ETAPA 1 – PREPARAÇÃO

Esta revisão sistemática integrativa da literatura busca responder a seguinte questão de pesquisa: *Como a estrutura de um planejamento regional para a adoção segura do reúso de água contribui para a sustentabilidade e o desenvolvimento de uma região?*

Os descritores representam os termos que permitem ao pesquisador encontrar, de forma mais precisa, o que se busca nas fontes de consulta. A escolha correta dos descritores é essencial para que o conhecimento existente resgatado tenha representatividade para atingir o objetivo desta tese. Assim, se definiram os descritores: *water reuse* (DE-1), *water scarcity* (DE-2), *sustainability* (DE-3) e *regional planning* (DE-4).

Como critérios de inclusão, delimitaram-se: i) somente registros disponíveis na íntegra para recuperação; e ii) para as buscas em que a quantidade de registros recuperados foi superior a 20 documentos, consideraram-se os dez registros mais relevantes e os dez mais citados. Como fontes de busca de evidências, utilizaram-se as bases de dados Scielo, Scopus e Web of Science. Para a definição das expressões de busca, empregaram-se os descritores de forma isolada e combinados entre si (Quadro 2).

Quadro 2 – Expressões de busca

Id-busca	Expressão de busca
A1 até A3	<i>“water reuse”</i>
A4 até A6	<i>“water scarcity”</i>
A7 até A9	<i>“sustainability”</i>
A10 até A12	<i>“planning”</i>
B1 até B3	<i>“water reuse” AND “water scarcity”</i>
B4 até B6	<i>“water reuse” AND “sustainability”</i>
B7 até B9	<i>“water reuse” AND “planning”</i>
B10 até B12	<i>“water scarcity” AND “sustainability”</i>
B13 até B15	<i>“water scarcity” AND “planning”</i>
B16 até B18	<i>“sustainability” AND “planning”</i>
C1 até C3	<i>“water reuse” AND “water scarcity” AND “sustainability”</i>
C4 até C6	<i>“water reuse” AND “water scarcity” AND “planning”</i>
C7 até C9	<i>“water scarcity” AND “sustainability” AND “planning”</i>
D1 até D3	<i>“water reuse” AND “water scarcity” AND “sustainability” AND “planning”</i>

Fonte: Elaborado pelo autor..

2.2 ETAPA 2 – REALIZAÇÃO DAS BUSCAS NAS BASES DE DADOS

A busca nas bases de dados foi realizada no mês de outubro de 2022, sendo que a busca inicial utilizou os descritores de forma isolada e sem critérios de exclusão/inclusão, a fim de se obter um panorama dos estudos desenvolvidos sobre o descritor. O Quadro 3 apresenta a quantidade de registros recuperados, bem como a publicação mais antiga disponibilizada em cada base de dados definida.

Quadro 3 – Registros recuperados na busca inicial

Id da busca	Quantidade de registros	Primeira publicação		
		Ano	Autor(es) Scielo	Título
A1	144	2000	SAMPAIO, A. M. B. M.; KUBTIZA, F.; CYRINO, J. E. P.	Relação energia: proteína na nutrição do tucunaré
A4	182	2003	RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F. M.	Água, população rural e políticas de gestão: o caso do vale do Jequitinhonha, Minas Gerais
A7	6.042	1995	SANTOS, G. M. dos	Impactos da hidroelétrica Samuel sobre as comunidades de peixes do rio Jamari (Rondônia, Brasil)
A10	15.807	1951	MORAES, J. M.	Influência do cloro, sobre a composição do caldo da cana de açúcar Co 290, aplicado no solo, na forma de cloreto de sódio
Scopus				
A2	6.723	1955	[No author name available]	Putting waste water to work
A5	12.545	1972	LEE, R. B.	Kung spatial organization: an ecological and historical perspective
A8	320.071	1970	ANDERSON, H. E.	Forest fuel ignitibility
A11	1.497.132	1862	SCOTT, M. W. T.	On mine surveying and planning
Web of Science				
A3	4.864	1946	MORRISON, H. A.	White water reuse and disposal
A6	9.602	1977	CUMMINGS, R. G.; MCFARLAND, J. W.	Reservoir management and water scarcity issue in upper Colorado river basin
A9	230.296	1974	HARTWICK, J. M.	Price sustainability of location assignments
A12	617.822	1945	DAILI, E. F.	Maternity care in the united-states – planning for the future
Total registros A1 + A2 + A3: 11.731				
Total registros A4 + A5 + A6: 22.329				
Total registros A7 + A8 + A9: 556.409				
Total registros A10 + A11 + A12: 2.130.731				

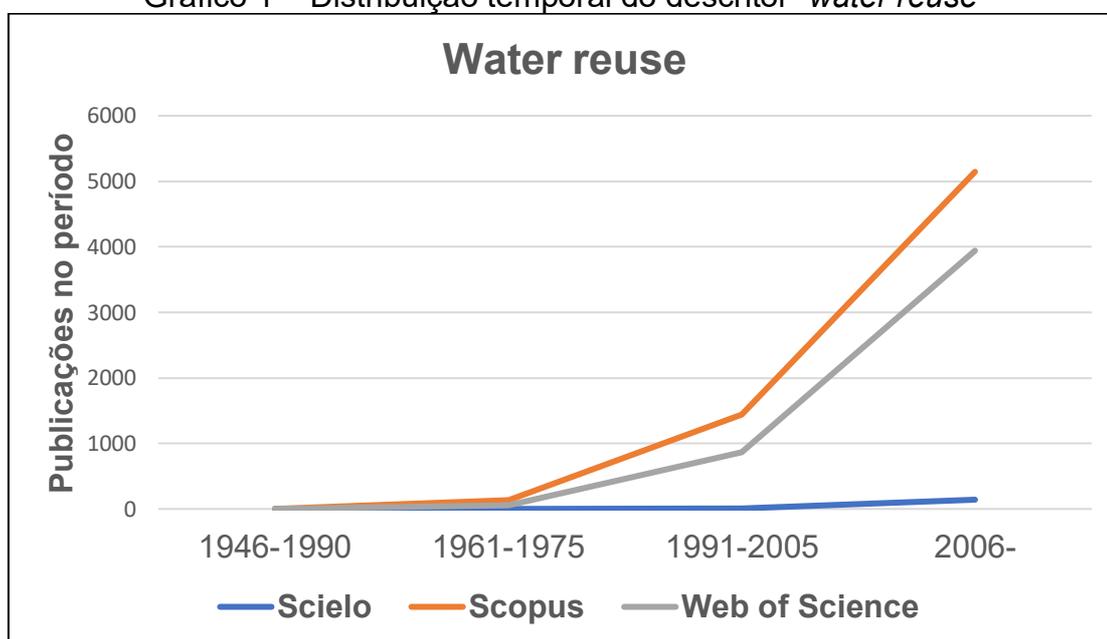
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao descritor “*water reuse*”, a base com maior representatividade foi a Scopus, com 6.723 registros recuperados, ou 57,31%. No caso do descritor “*water scarcity*”, a Scopus foi a base com maior quantidade de registros recuperados, totalizando 12.545 documentos, representando 56,18%. A Scopus foi novamente a base com maior quantidade de registros recuperados no descritor

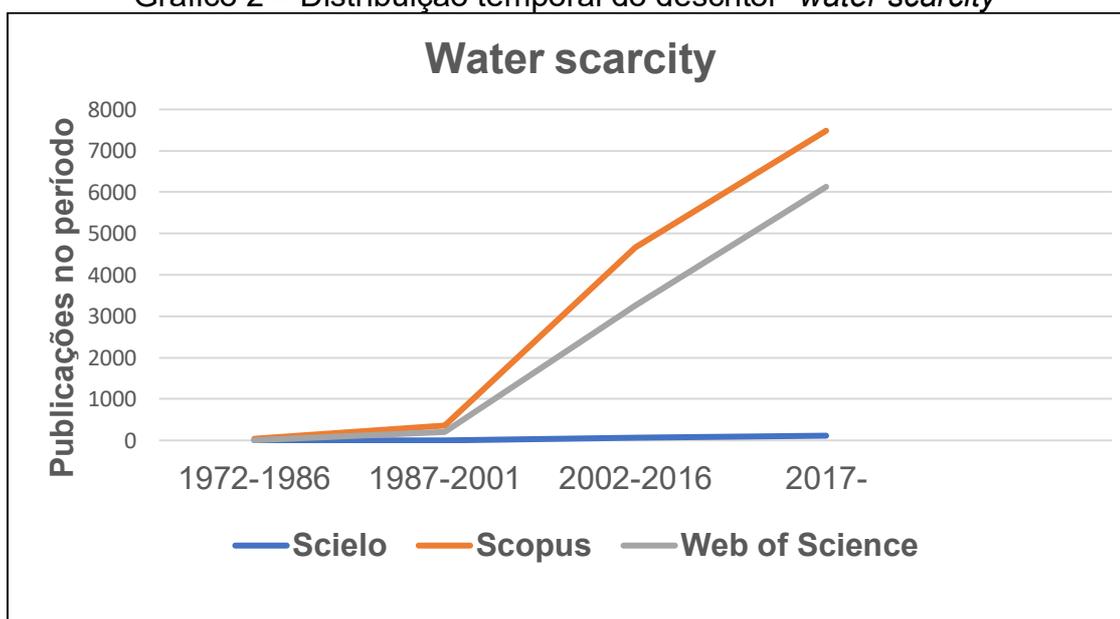
“*sustainability*”, com 320.071 documentos, ou 57,52%. Por fim, no descritor “*regional planning*”, a Scopus, com 1.497.132 registros recuperados (70,26%), foi a mais representativa das três bases consultadas. Nesse descritor, não foram encontrados registros na base de dados Scielo.

Conhecer a evolução da quantidade de publicações ao longo dos anos permite ao pesquisador compreender a importância que um determinado descritor vem recebendo da comunidade acadêmica. Nos Gráficos 1, 2, 3 e 4, pode ser observada a evolução temporal de cada descritor utilizado nesta revisão.

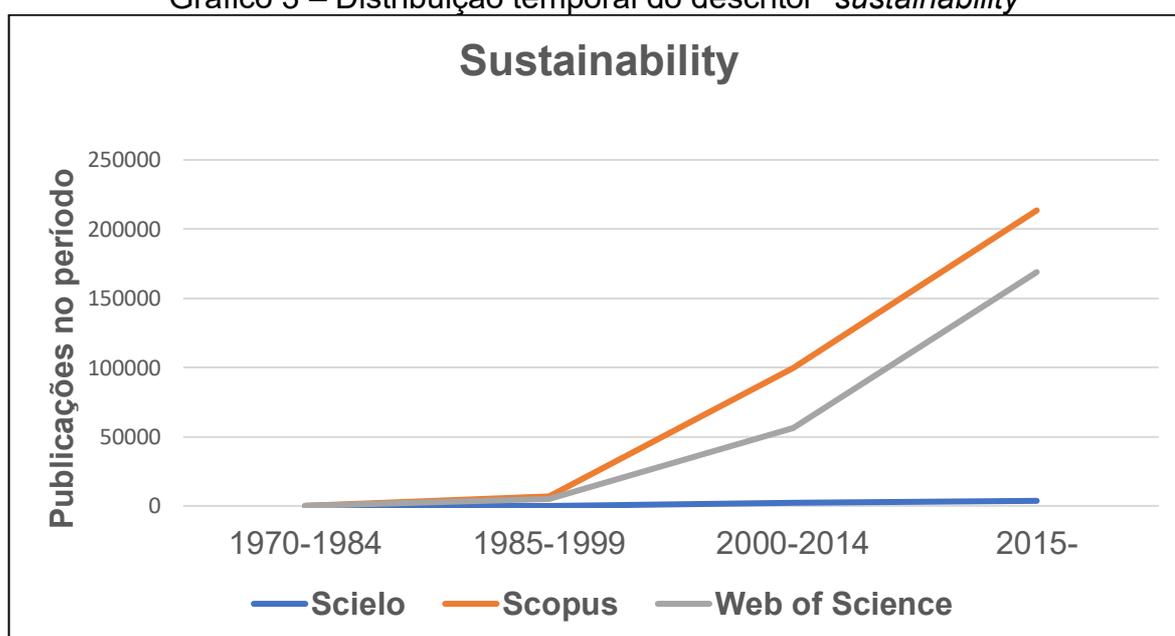
Gráfico 1 – Distribuição temporal do descritor “*water reuse*”



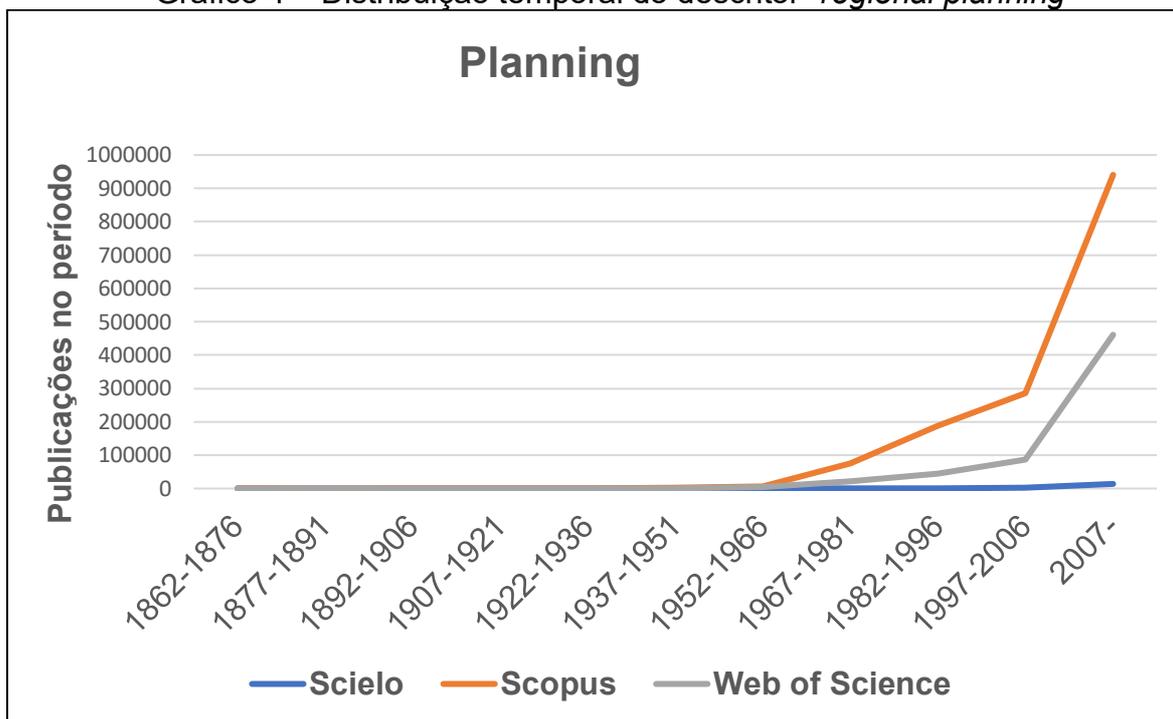
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2 – Distribuição temporal do descritor “*water scarcity*”

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Distribuição temporal do descritor “*sustainability*”

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Distribuição temporal do descritor “*regional planning*”

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, foram realizadas buscas utilizando-se os descritores combinados entre si. Os resultados obtidos após a execução das buscas combinadas podem ser observados no Quadro 4.

Quadro 4 – Resultado das buscas com descritores combinados

(continua)

Base de dados	Descritores combinados 2 a 2		Descritores combinados 3 a 3		Descritores combinados 4 a 4	
	Id busca	Número de registros	Id busca	Número de registros	Id busca	Número de registros
Scielo	B1	6	C1	1	D1	0
	B4	8				
	B7	2	C4	0		
	B10	10				
	B13	11	C7	2		
	B16	376				
Scopus	B2	391	C2	66	D2	10
	B5	551				
	B8	565	C5	50		
	B11	1.540				
	B14	1.480	C8	252		
	B17	38.326				

Quadro 4 – Resultado das buscas com descritores combinados
(conclusão)

Base de dados	Descritores combinados 2 a 2		Descritores combinados 3 a 3		Descritores combinados 4 a 4	
	Id busca	Número de registros	Id busca	Número de registros	Id busca	Número de registros
Web of Science	B3	303	C3	59	D3	9
	B6	384				
	B9	221	C6	30		
	B12	1207				
	B15	714	C9	111		
	B18	17.655				
<p>Total registros B1 + B2 + B3: 700 Total registros B4 + B5 + B6: 943 Total registros B7 + B8 + B9: 788 Total registros B10 + B11 + B12: 2.757 Total registros B13+ B14 + B15: 2.205 Total registros B16 + B17 + B18: 56.357</p> <p>Total registros C1 + C2 + C3: 126 Total registros C4 + C5 + C6: 130 Total registros C7 + C8 + C9: 365</p> <p>Total registros D1 + D2 + D3: 19</p>						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos resultados do Quadro 4, foram selecionados os dez registros mais citados e os dez registros mais relevantes das buscas que resultaram em uma quantidade de registros superior a 20. Assim, a quantidade de registros obtidos pode ser verificada no Quadro 5.

Quadro 5 – Resultados das buscas com descritores combinados
(continua)

Scielo		Scopus		Web of Science	
Id da busca	Quantidade de registros	Id da busca	Quantidade de registros	Id da busca	Quantidade de registros
B1	6	B2	20	B3	20
B4	8	B5	20	B6	20
B7	2	B8	20	B9	20
B10	10	B11	20	B12	20
B13	11	B14	20	B15	20
B16	20	B17	20	B18	20

Quadro 5 – Resultados das buscas com descritores combinados.
(conclusão)

Scielo		Scopus		Web of Science	
Id da busca	Quantidade de registros	Id da busca	Quantidade de registros	Id da busca	Quantidade de registros
C1	1	C2	20	C3	20
C4	0	C5	20	C6	20
C7	2	C8	20	C9	20
D1	0	D2	10	D3	9
Total geral: 439					

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 ETAPA 3 – ANÁLISE DOS REGISTROS PRÉ-SELECIONADOS E SELECIONADOS

Essa etapa se iniciou pela verificação de possíveis duplicações nos registros pré-selecionados. Do total de 439 registros pré-selecionados, 145 foram descartados por duplicidade, o que resultou em 294 documentos. Na sequência, iniciou-se o processo de *download*, respeitando o critério de inclusão definido. Dessa forma, dos 294 registros recuperados pelas buscas, 13 foram descartados por não estarem disponíveis integralmente, o que resultou em 281 para a leitura do título, do resumo e das palavras-chave, a fim de verificar a aderência ao objeto de pesquisa desta revisão sistemática integrativa da literatura.

Dos 281 registros pré-selecionados, 224 foram descartados por não contribuírem de forma significativa para a pesquisa, o que resultou em um total de 57 registros que foram considerados para esta tese.

3 OUTRAS FONTES DE PESQUISA

Esta etapa da pesquisa teve por objetivo procurar estudos não contemplados nas buscas realizadas nas bases de dados Scielo, Scopus e Web of Science.

3.1 OUTRAS BASES DE DADOS

Estudos não contemplados na Scielo, na Scopus e na Web of Science foram encontrados em diferentes bases de dados e outras fontes após uma busca exploratória.

3.2 TESES E DISSERTAÇÕES

As teses e dissertações de universidades nacionais e internacionais, disponíveis no universo das diversas ciências, representa um campo fértil de documentos que forneceram contribuições e *insights* para o desenvolvimento desta tese. O Quadro 6 apresenta a seleção de teses e dissertações que contribuíram para esta pesquisa.

Quadro 6 – Teses e dissertações

(continua)

Ano	Título	Autor(es)	Tese/Dissertação	Instituição
2005	Biorreator à membrana submersa para tratamento biológico de efluentes: estudos hidrodinâmicos e físico-químicos no controle da colmatação	PROVENZI, G.	Tese	UFSC
2006	Oxidação fotoquímica – UV/H ₂ O ₂ – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil	HASSEMER, M. E. N.	Tese	UFSC
2007	Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reúso de água	MAESTRI, R. S.	Dissertação	UFSC
2018	Eletrobiorreator a membrana aplicado ao tratamento de efluentes sanitários objetivando a remoção de nutrientes e o controle da colmatação	BATTISTELLI, A. A.	Tese	UFSC
2019	Eletrobiorreator a membrana em batelada sequencial aplicado ao tratamento de efluente sintético simulando esgoto doméstico	SOUZA, E.	Dissertação	UFSC

Quadro 6 – Teses e dissertações.

Ano	Título	Autor(es)	Tese/Dissertação	Instituição
2021	Aplicação de eletrocoagulação em um biorreator a membrana precedido de tanque anóxico para o tratamento de efluente têxtil	RAVADELLI, M.	Dissertação	UFSC
2021	Utilização do biocarvão como meio filtrante de wetland construído vertical empregado no tratamento de esgoto sanitário	RODRIGUES, E. B.	Tese	UFSC
2022	Estratégias para a concepção de competências essenciais à luz do sistemismo no contexto da Indústria 4.0	LAPOLLI, C. P.	Tese	UFSC

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 DOCUMENTOS INSTITUCIONAIS

Ao longo da execução das etapas da revisão sistemática integrativa, importantes documentos institucionais publicados por organismos governamentais e não governamentais nacionais e internacionais foram identificados como contribuições importantes para esta pesquisa. O Quadro 7 apresenta tais documentos recuperados.

Quadro 7 – Publicações institucionais consideradas relevantes para esta pesquisa (continua)

Autor(es)/Ano	Título
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2020)	Atlas Esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2021)	Relatório Pleno, Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil
Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS (2020)	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico temático dos serviços de água e esgoto
Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS (2022)	Água de reúso: oportunidades e riscos para o setor empresarial

Quadro 7 – Publicações institucionais consideradas relevantes para esta pesquisa
(conclusão)

Autor(es)/Ano	Título
California Department of Water Resources – DWR (2013)	California Water Plan Update
Global Water Report – GWR (2020)	A wave of change – the role of companies in building a water-secure world
Interáguas, Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA (2017)	Elaboração de proposta do plano de ação para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto II – Experiências de Reúso
Interáguas, Ministério das Cidades e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA (2017)	Elaboração de proposta do plano de ação para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto IV – Avaliação do Potencial de Reúso
International Water Association – IWA (2013)	Milestones in water reuse: the best success stories
National Research Council (2012)	Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater
Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, Governo do Estado de Santa Catarina (2017)	Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina
SUWANU Europe (2020)	The Project
SUWANU EUROPE (2021a)	SWOT and PEST analyses for implementation of reuse practices in Alentejo, Portugal
SUWANU EUROPE (2021b)	Development of regional action plans for the fast implementation of water reuse to the 8 pilot regions of the SUWANU EUROPE Project
Official Journal of the European Union (2020)	Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council
United States Environmental Protection Agency – EPA (2021)	Maps of states with water reuse regulations or guidelines
United States Environmental Protection Agency – EPA (2020)	National water reuse action
United States Environmental Protection Agency – EPA (2012)	Guidelines for water reuse
WFD Reporting Guidance (2016)	Common implementation strategy for the water framework directive and the floods directive. <i>In</i> : Guidelines on integrating water reuse into water planning and management in the context of the WFD

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 LIVROS CONSIDERADOS RELEVANTES PARA ESTA PESQUISA

A riqueza de publicações disponível no universo das diversas ciências representa um campo fértil de documentos que forneceram contribuições e *insights* para o desenvolvimento desta tese. O Quadro 8 apresenta uma seleção de livros que revelam a sua natureza interdisciplinar.

Quadro 8 – Livros considerados relevantes para esta pesquisa

Autor(es)/Ano	Título
Schneider, R. P.; Tsutyia, M. T. (2001)	Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso
Metcalf & Eddy/AECOM (2007)	Water reuse: issues, technologies, and applications

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta revisão sistemática integrativa da literatura buscou resgatar as evidências fundamentais no suporte da fundamentação teórica desta tese. A matriz de síntese ofereceu um rico panorama da visão de diferentes autores sobre os temas pesquisados. Ressalta-se a importância do protocolo de execução da pesquisa a fim de garantir o resgate de documentos com alta qualidade de informação.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. de A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, [s. l.], v. 5, n. 11, p. 121, 2011.

POMPEO, D. A.; ROSSI, L. A.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: etapa inicial do processo de validação de diagnóstico de enfermagem. **Acta Paulista de Enfermagem**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 434-438, 2009.

TORRACO, R. J. Writing integrative literature reviews: guidelines and examples. **Human Resource Development Review**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 356-367, 2005.

APÊNDICE B – Resultado da verificação da análise SWOT/PESTLE (Matriz de Referência)

(continua)

SWOT/PESTEL	AMBIENTE INTERNO		AMBIENTE EXTERNO	
	PONTOS FORTES	PORTOS FRACOS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
ASPECTOS POLÍTICOS	S1) O reúso de água é uma das alternativas apresentadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos/SC para reverter o cenário de vulnerabilidade hídrica da região.	W1) Ausência de políticas de incentivo e legislação nos municípios da região sobre o reúso a partir do aproveitamento dos esgotos tratados de Estações de Tratamento. W2) Possível resistência no licenciamento ambiental de projetos de reúso de água devido aos riscos associados.	O1) A adoção do reúso de água na região fortalece e impulsiona a necessidade de regulamentação nacional e estadual sobre o reúso.	T1) Inexistência de legislação e regulamentos para o uso de esgotos tratados no Brasil e em Santa Catarina. T2) Dificuldades para empreender as ações necessárias para a expansão da coleta e tratamento de esgotos nos municípios. T3) Usual baixa mobilização dos governantes municipais em temas relacionados ao saneamento e meio ambiente. T11) Fiscalização sobre a segurança alimentar por órgãos de controle.
	S2) O reúso de água contribui com a manutenção e ampliação das atividades econômicas e indústrias da região pela garantia da disponibilidade de água para os negócios.	W3) Custos para a produção e distribuição da água de reúso.	O2) Distribuição dos custos da produção e distribuição da água de reúso entre os usuários e as empresas produtoras.	T4) Risco de o preço da água de reúso não ser competitivo em comparação com tarifas de água atualmente utilizadas.
ASPECTOS ECONÔMICOS	S7) Proximidade de indústrias e áreas de cultivo agrícola com estações de tratamento de esgotos.	W4) Dificuldade na determinação do custo da água reutilizada (custos de produção, transporte e armazenamento). W6) Aumento do consumo de energia na região em função dos processos de produção e distribuição da água de reúso.	O3) Abordagem do aproveitamento dos esgotos tratados como um serviço ambiental e para a agricultura. O6) O reúso de água poderá viabilizar a instalação e expansão de negócios e empreendimentos pelo aumento da disponibilidade de água na região. O10) O fornecimento de água de reúso pode representar no aumento de receita das entidades operadoras dos serviços de saneamento nos municípios.	T5) Falta de apoio e incentivo financeiro dos órgãos governamentais específicas para a promoção do reúso de água. T6) Necessidade de investimentos para a produção e distribuição da água de reúso pelas operadoras dos serviços de saneamento nos municípios. T7) Possibilidade de menor rentabilidade dos produtos agrícolas cultivados com água de reúso. T8) Perda de competitividade e mercado de produtos cultivados com água de reúso.

(conclusão)

SWOT/PESTEL	AMBIENTE INTERNO		AMBIENTE EXTERNO	
	PONTOS FORTES	PORTOS FRACOS	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
ASPECTOS SOCIAIS	S4) O reúso de água contribui para o aumento da conscientização das pessoas sobre a necessidade de preservação dos recursos naturais.	W7) Falta de confiança dos agricultores que a utilização de água de reúso é segura para a produção de alimentos com qualidade sanitária.	O4) A adoção do reúso de água poderá gerar novos postos de trabalho na região.	T9) Falta de aceitação de produtos irrigados com águas de reúso pelos distribuidores.
	S6) Existe na região a preocupação social, do setor empresarial e da classe política com a escassez de água e busca de alternativas.	W8) Riscos à saúde dos trabalhadores, agricultores e usuários envolvidos na produção, distribuição e utilização da água de reúso.	O7) Envolvimento das instituições de ensino e universidades da região para a produção de estudos e pesquisas sobre o reúso de água.	T10) Relutância na aceitação pública e falta de confiança dos consumidores com produtos irrigados com água de reúso.
ASPECTOS TECNOLÓGICOS	-	W9) Pouco conhecimento e domínio das empresas operadoras de saneamento sobre as tecnologias de tratamento para produção de água de reúso.	O5) A adoção do reúso de água possibilitará a evolução do conhecimento técnico e científico local sobre novas tecnologias.	-
	-	W11) Incompatibilidade da qualidade dos esgotos tratados na região para irrigação em algumas culturas.	-	-
	-	W12) Necessidade de adequação das estações de tratamento existentes para produção de água de reúso	-	-
ASPECTOS AMBIENTAIS	S3) A irrigação com água de reúso possibilita o aumento da contribuição de nutrientes para as culturas agrícolas.	W5) Baixa cobertura de coleta e tratamento de esgotos nos municípios da região.	O8) A adoção do reúso de água possibilita o aproveitamento de nutrientes presentes no tratamento de esgotos.	T12) Impacto na produtividade do solo e no rendimento de culturas irrigadas com água de reúso.
	S5) O reúso de água contribui para uma maior disponibilidade de água nos mananciais.	W10) Falta de disseminação do conhecimento científico sobre os riscos à saúde e impactos ambientais do reúso de água.	O9) Aumento da eficiência das estações de tratamento em operação para a produção de água de reúso.	-

Fonte: elaborado pelo pesquisador, com base em Pérez e Berbel (2020), Mainali *et al.* (2011), Winker *et al.* (2020), SUWANU EUROPE (2021b), Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) e Canaj e Mehmeti (2024)

APÊNDICE C – Instituições identificadas como partes interessadas e especialistas na RH10/SC

N.	Instituição	Setor	Abrangência
1	Consórcio Intermunicipal de Saneamento Ambiental (CISAM/SUL)	Agência Reguladora	Regional
2	Agência Reguladora Intermunicipal (ARIS)	Agência Reguladora	Regional
3	Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina (ARESC)	Agência Reguladora	Regional
4	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC)	Indústria	Regional
5	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN)	Empresas Operadoras de Saneamento	Regional
6	Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAMAÉ) – Araranguá	Empresas Operadoras de Saneamento	Municipal
7	SAMAÉ – Urussanga	Empresas Operadoras de Saneamento	Municipal
8	Sombrio Saneamento – Sombrio	Empresas Operadoras de Saneamento	Municipal
9	Comitê Bacia Hidrográfica Rio Urussanga e Rio Mampituba	Comitê de Bacia Hidrográfica	Regional
10	Comitê Bacia Hidrográfica Rio Araranguá	Comitê de Bacia Hidrográfica	Regional
11	Secretaria do Meio Ambiente e Economia Verde (SEMAE)	Governo Estadual	Regional
12	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)	Governo Estadual	Regional
13	Guilherme Xavier de Miranda Júnior	Especialista	Regional
14	Maria Elisa Magri	Especialista	Regional
15	Instituto do Meio Ambiente (IMA)	Órgão Ambiental	Regional
16	Prefeitura de Forquilha	Governo Municipal	Municipal
17	Prefeitura de Criciúma	Governo Municipal	Municipal
18	Federação Catarinense dos Municípios (FECAM)	Governo Municipal	Regional

Fonte: Elaborado pelo autor..

APÊNDICE D – Resultados do questionário “Relevância dos aspectos relacionados ao reúso de água na perspectiva da RH10/SC”

Para a avaliação da RH10/SC frente à perspectiva do reúso de água, foi aplicado um questionário eletrônico semiestruturado, contendo os aspectos observados nos estudos de Pérez e Berbel (2020), Mainali *et al.* (2011), Winker *et al.* (2020), SUWANU EUROPE (2021b) e Nourbakhsh, Hassanpour Darvishi e Ebrahimi (2022) e que apresentaram potencial influência na adoção do reúso de água em âmbito regional.

A avaliação foi realizada pelos representantes das partes interessadas numa escala Likert de relevância, em que cada aspecto avaliado recebeu nota de 1 a 5, sendo: i) aspecto considerado sem relevância; ii) aspecto considerado pouco relevante; iii) aspecto considerado razoavelmente relevante; iv) aspecto considerado relevante; e v) aspecto considerado muito relevante.

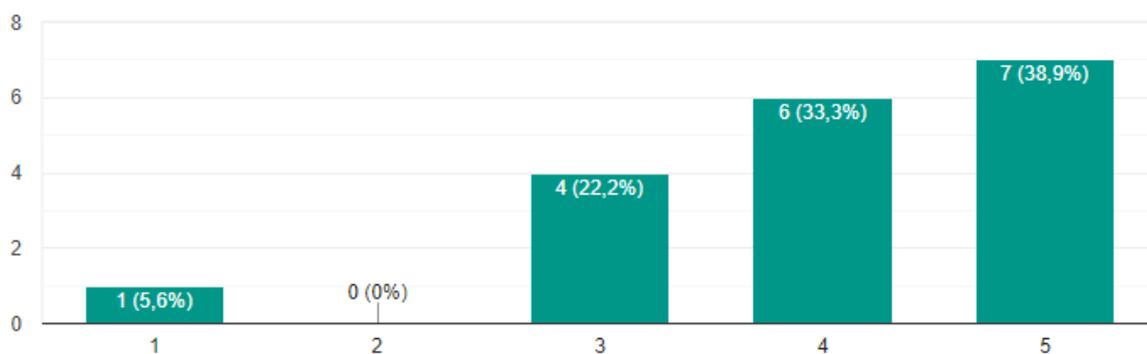
A seguir, encontra-se um resumo com as notas atribuídas para cada aspecto avaliado como ponto forte, ponto fraco, oportunidade e ameaça no contexto dos ambientes interno e externo da RH10/SC.

1 ANÁLISE DO CONTEXTO DO AMBIENTE INTERNO DA RH10/SC

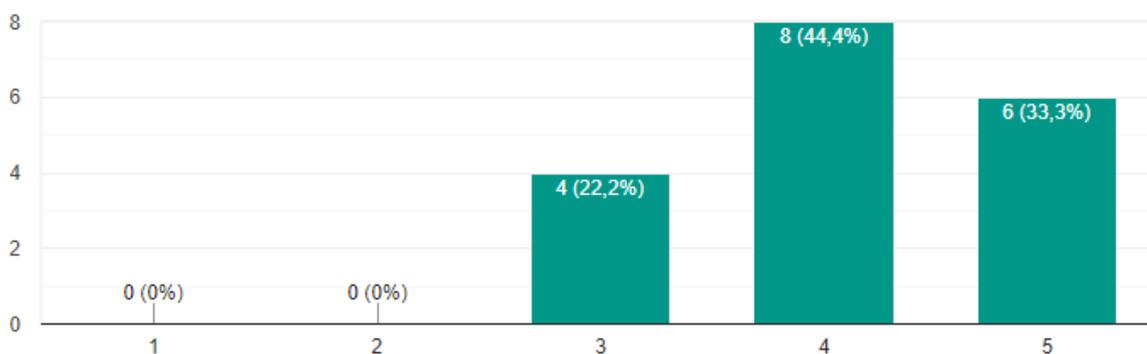
No contexto do ambiente interno da RH10/SC, serão avaliados fatores considerados como pontos fortes e fracos frente à perspectiva da adoção do reúso de água. Os pontos fortes são as competências, aspectos ou características positivas que o município possui e que favorecem essa adoção. Logo, os pontos fracos são as deficiências, aspectos ou características negativas que se encontram presentes na região e que podem prejudicar tal adoção, devendo ser objeto de iniciativas e ações específicas para eliminá-los ou minimizá-los.

Numa escala de 1 (sem relevância) a 5 (muito relevante), como você classificaria os aspectos abaixo como “**pontos fortes**” para a adoção do reúso de água na perspectiva da RH10/SC?

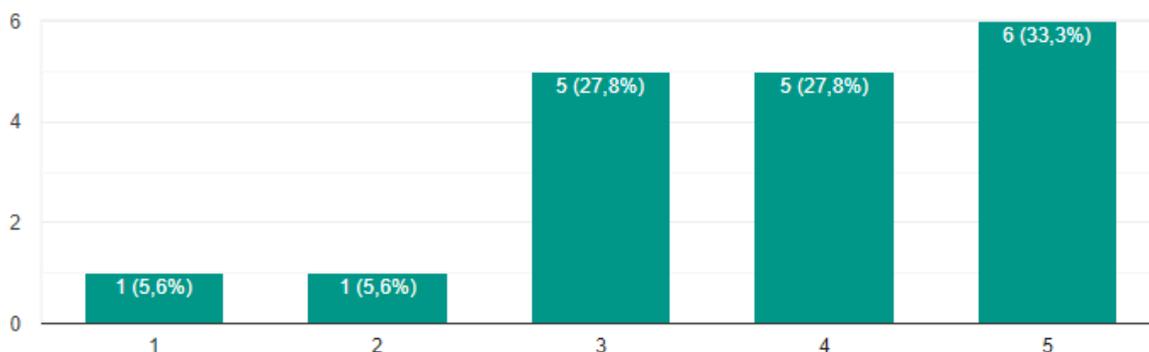
1) O reúso de água é uma das alternativas apresentadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos/SC para reverter o cenário de vulnerabilidade hídrica da região.



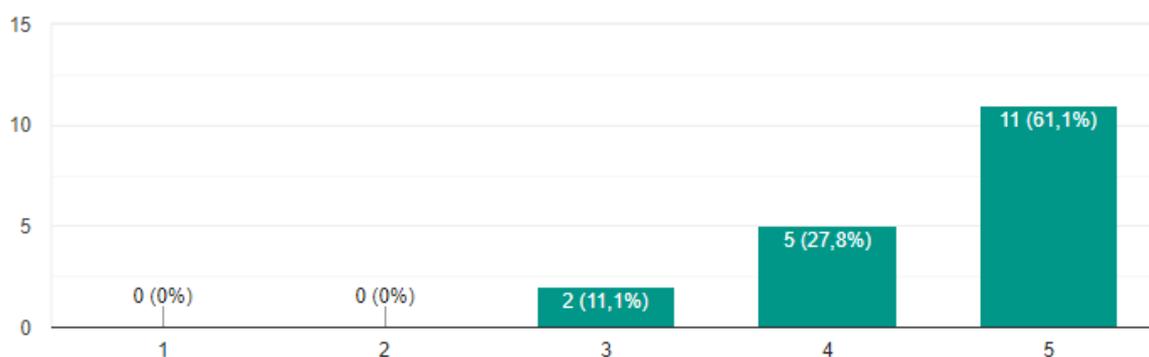
2) O reúso de água contribui para a manutenção e a ampliação das atividades econômicas e industriais da região pela garantia da disponibilidade de água para os negócios.



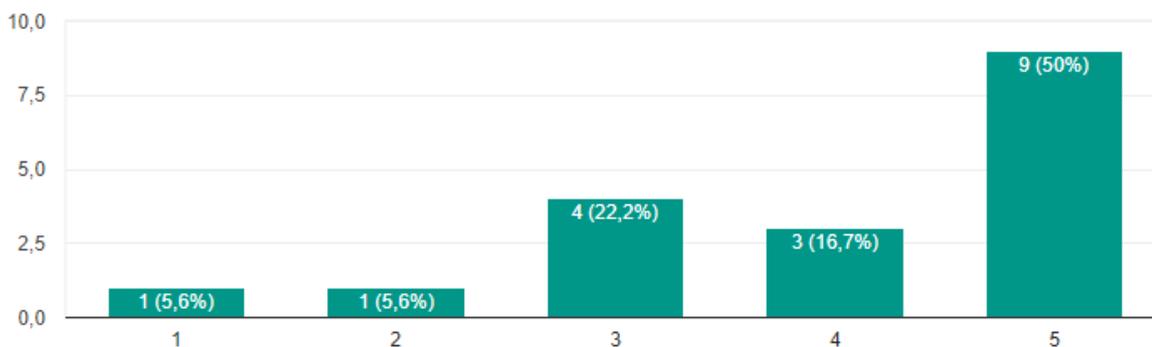
3) A irrigação com água de reúso possibilita o aumento da contribuição de nutrientes para as culturas agrícolas.



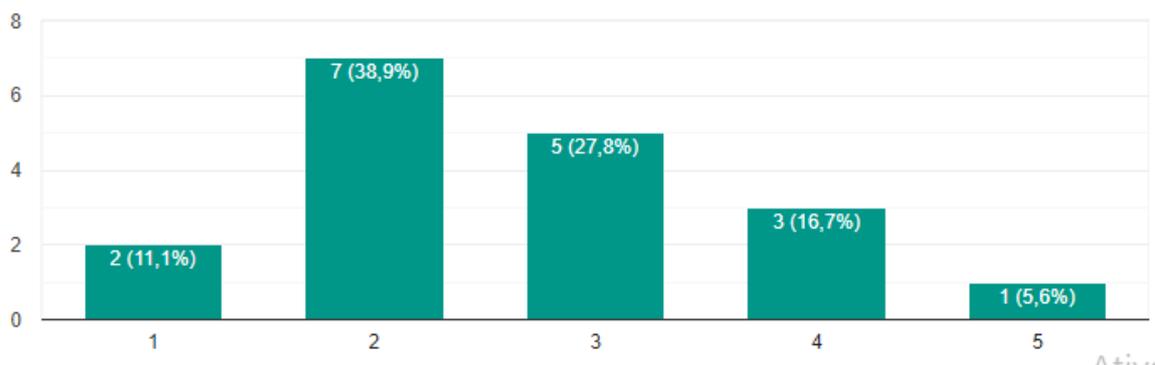
4) O reúso de água contribui para o aumento da conscientização das pessoas sobre a necessidade de preservação dos recursos naturais.



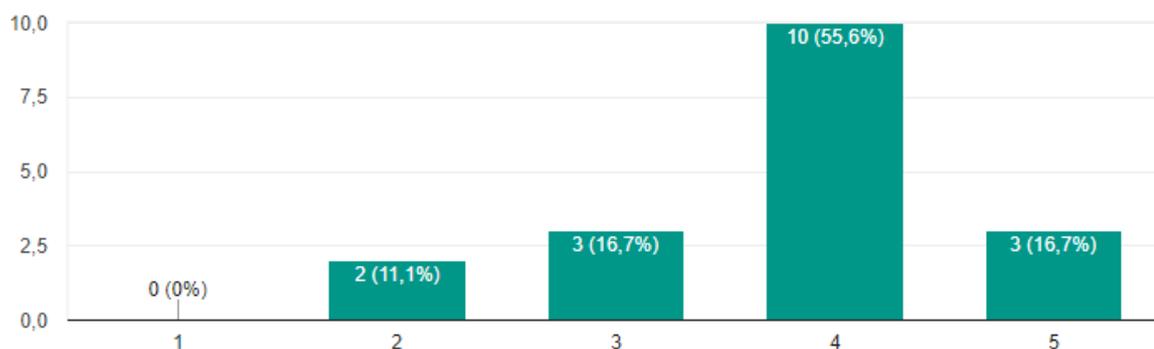
5) O reúso de água contribui para uma maior disponibilidade de água nos mananciais.



6) Existe na região a preocupação social, do setor empresarial e da classe política com a escassez de água e a busca de alternativas.

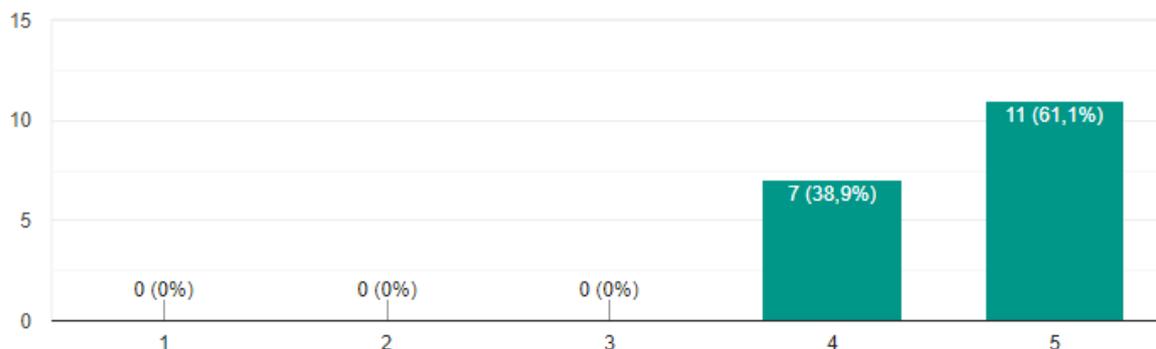


7) Proximidade de indústrias e áreas de cultivo agrícola com estações de tratamento de esgotos.

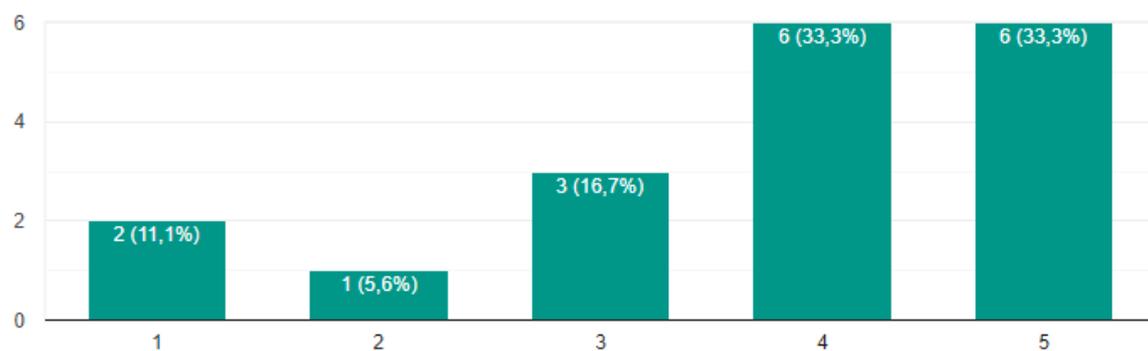


Numa escala de 1 (sem relevância) a 5 (muito relevante), como você classificaria os aspectos abaixo como “**pontos fracos**” para adoção do reúso de água na perspectiva da RH10/SC?

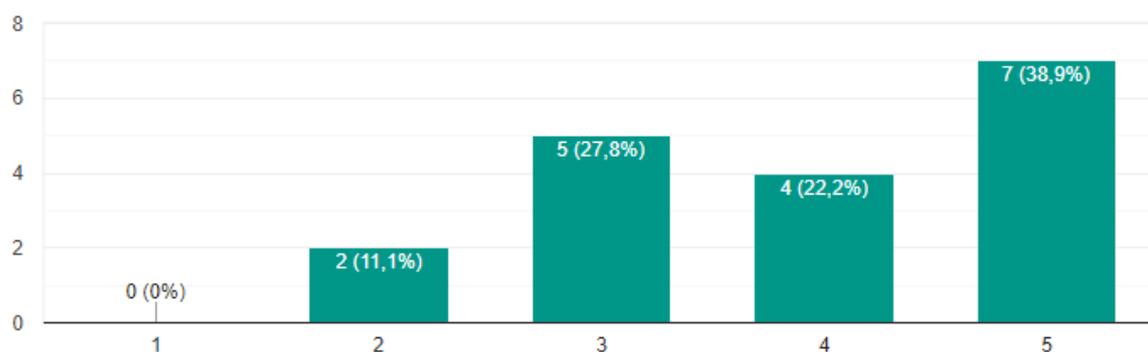
1) Ausência de políticas de incentivo e legislação nos municípios da região sobre o reúso a partir do aproveitamento dos esgotos tratados de Estações de Tratamento.



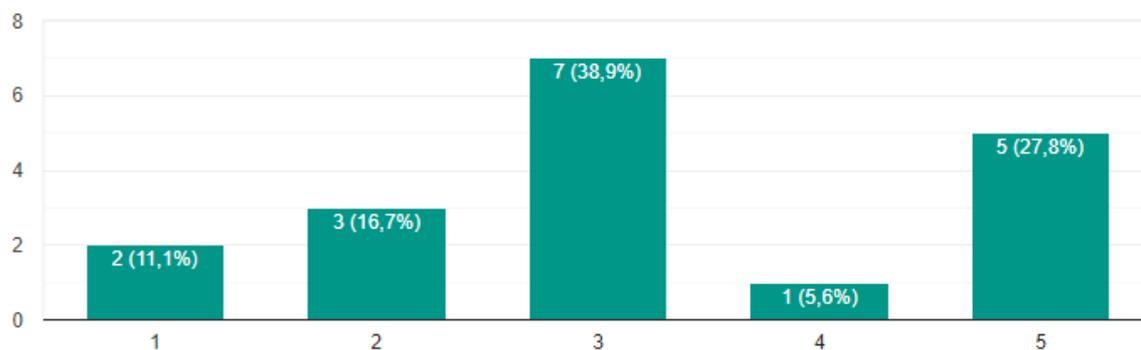
2) Possível resistência no licenciamento ambiental de projetos de reúso de água devido aos riscos associados.



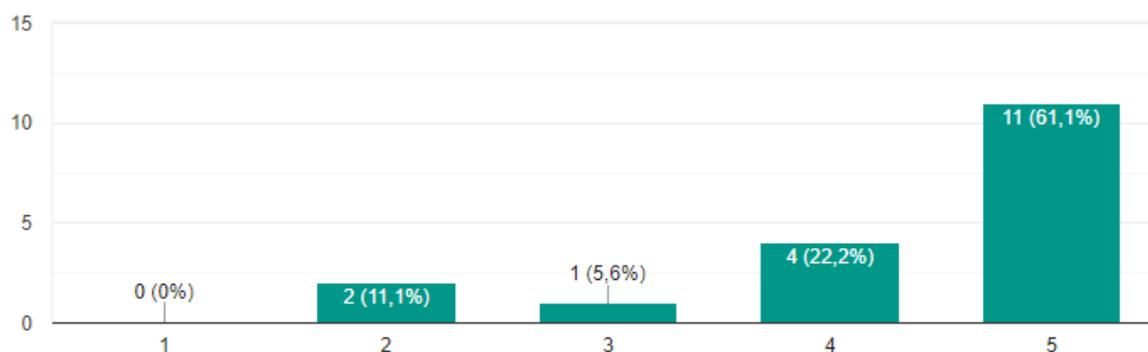
3) Custos para a produção e distribuição da água de reúso.



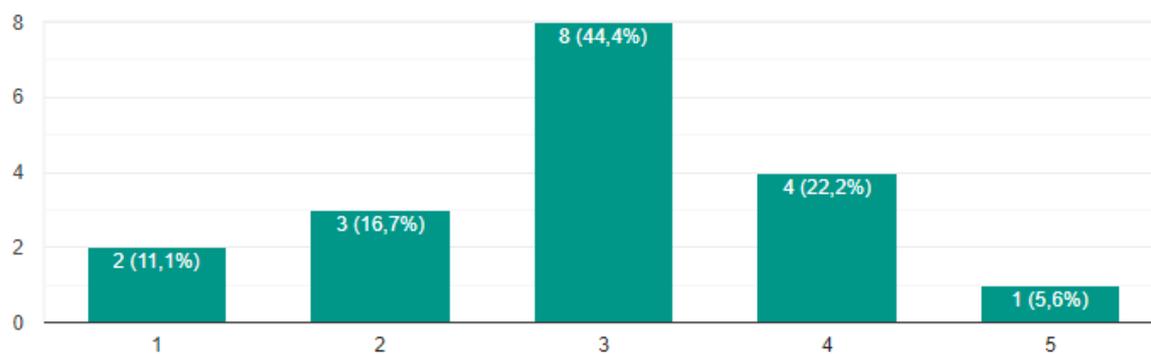
4) Dificuldade na determinação do custo da água reutilizada (custos de produção, transporte e armazenamento).



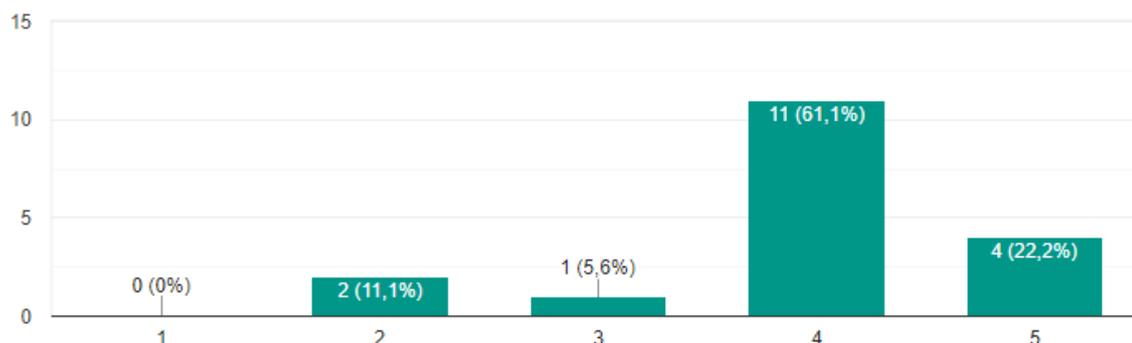
5) Baixa cobertura de coleta e tratamento de esgotos nos municípios da região.



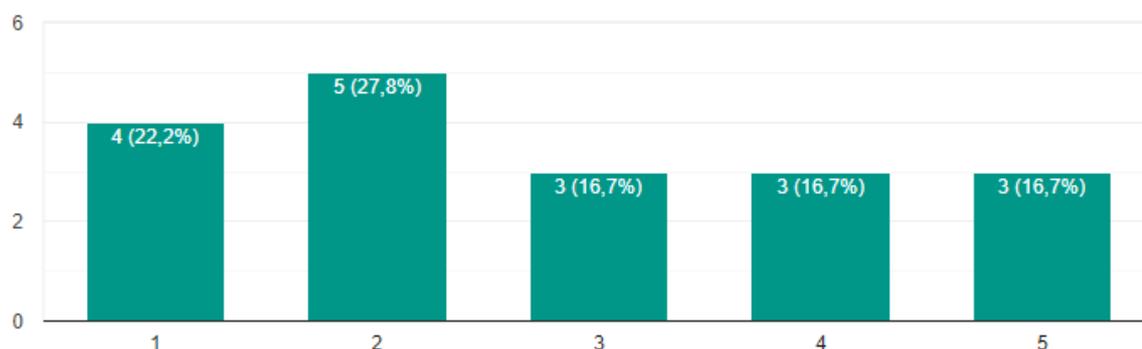
6) Aumento do consumo de energia na região em razão dos processos de produção e distribuição da água de reúso.



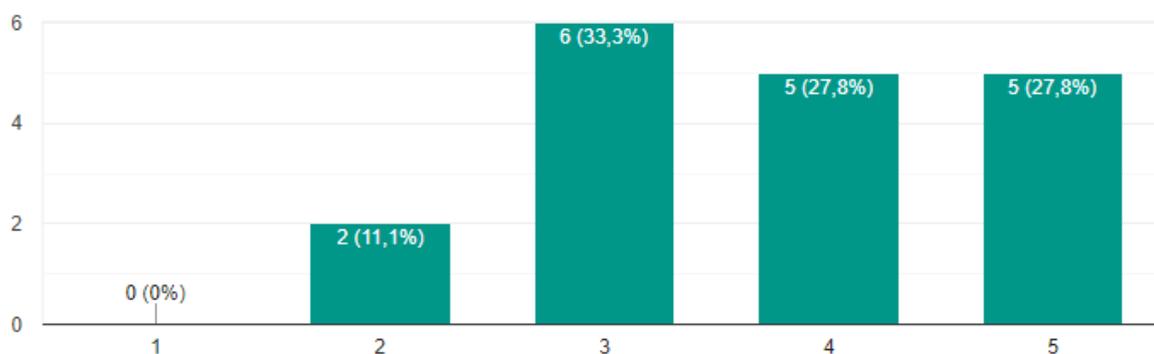
7) Falta de confiança dos agricultores de que a utilização de água de reúso é segura para a produção de alimentos com qualidade sanitária.



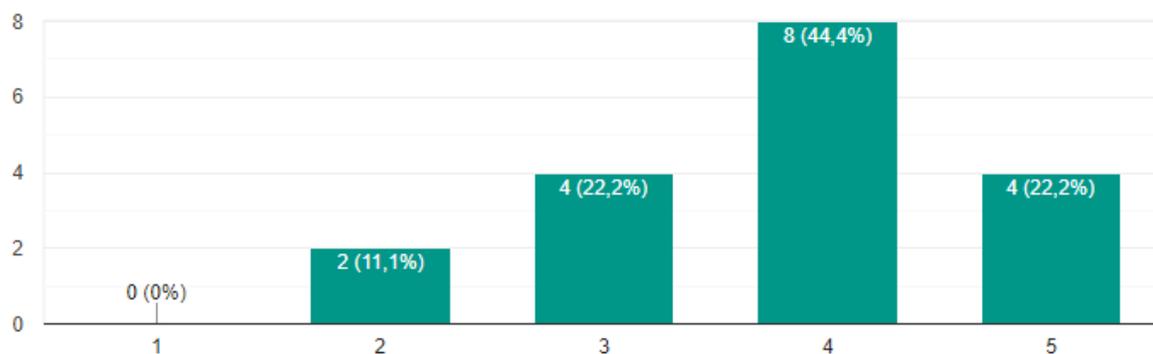
8) Riscos à saúde dos trabalhadores, agricultores e usuários envolvidos na produção, distribuição e utilização da água de reúso.



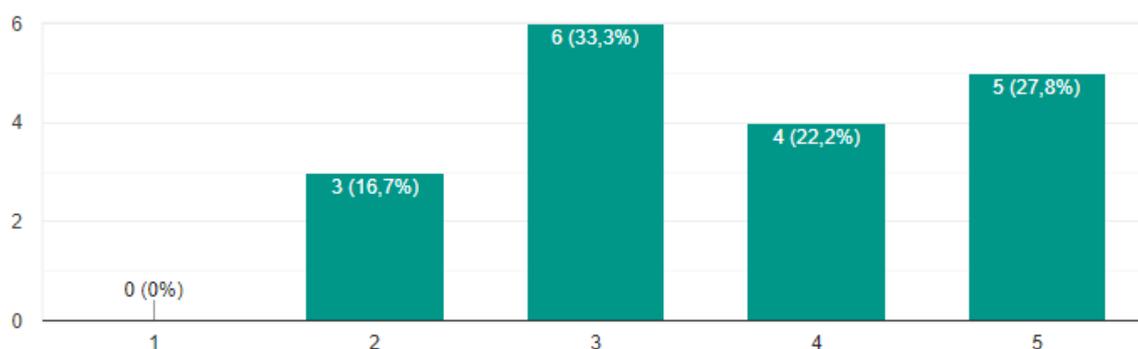
9) Pouco conhecimento e domínio das empresas operadoras de saneamento sobre as tecnologias de tratamento para a produção de água de reúso.



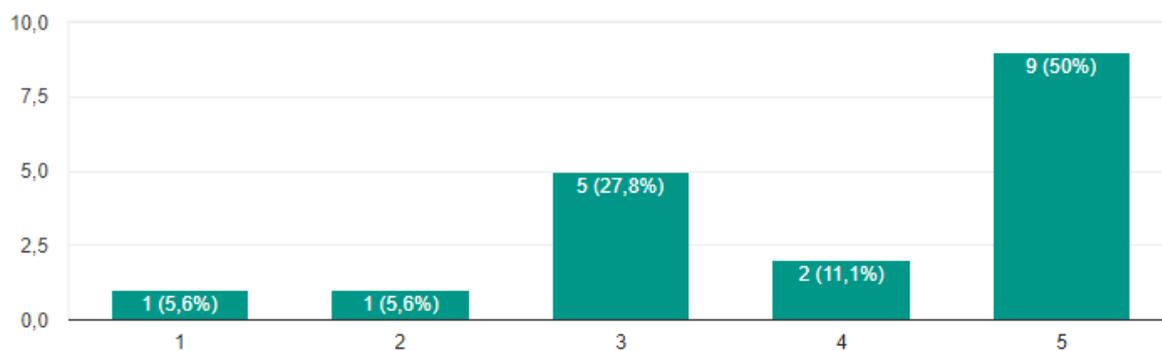
10) Falta de disseminação do conhecimento científico sobre os riscos à saúde e os impactos ambientais do reúso de água.



11) Incompatibilidade da qualidade dos esgotos tratados na região para a irrigação de algumas culturas.



12) Necessidade de adequação das estações de tratamento existentes para a produção de água de reúso.

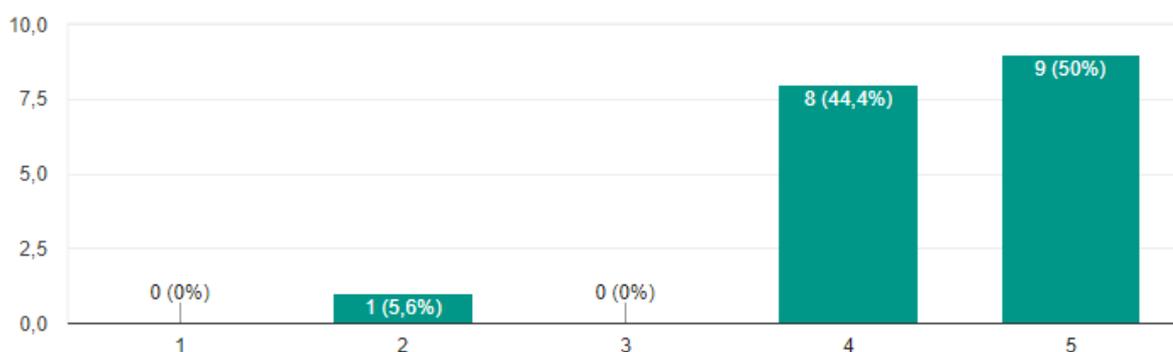


2 ANÁLISE DO CONTEXTO DO AMBIENTE EXTERNO À RH10/SC

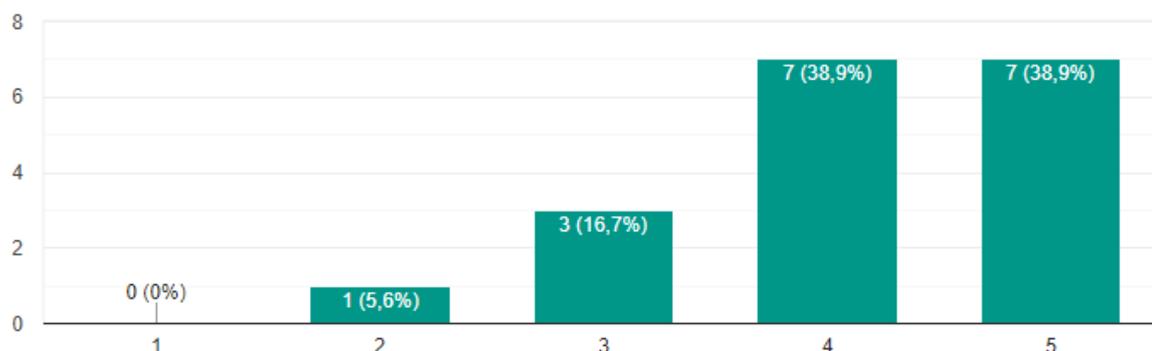
No contexto do ambiente externo à RH10/SC, serão avaliados aspectos considerados como oportunidades e ameaças frente à perspectiva da adoção do reúso de água. No ambiente externo, serão levados em conta elementos que estão fora do controle da região ou dos gestores, mas que devem ser conhecidos de forma a aproveitar oportunidades e evitar as ameaças para essa adoção.

Numa escala de 1 (sem relevância) a 5 (muito relevante), como você classificaria os aspectos abaixo como “**Oportunidade**” para o reúso de água na perspectiva da RH10/SC?

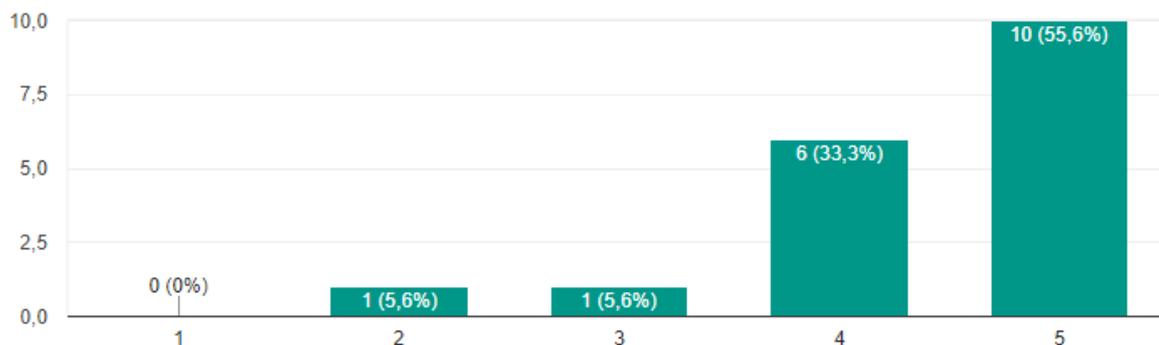
1) A adoção do reúso de água na região fortalece e impulsiona a necessidade de regulamentação nacional e estadual sobre o reúso.



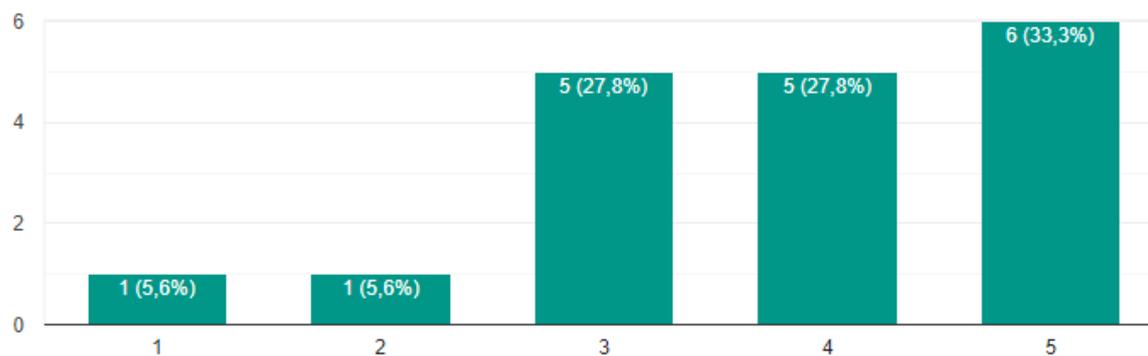
2) Distribuição dos custos da produção e da distribuição da água de reúso entre os usuários e as empresas produtoras.



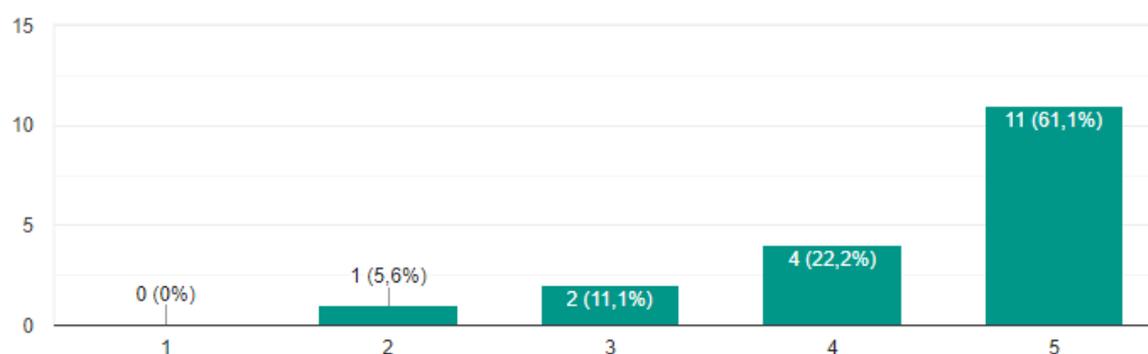
3) Abordagem do aproveitamento dos esgotos tratados como um serviço ambiental e para a agricultura.



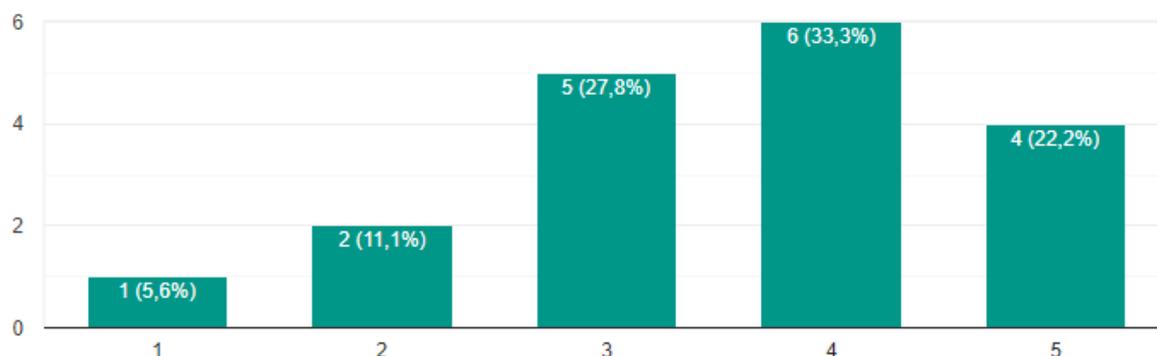
4) A adoção do reúso de água poderá gerar novos postos de trabalho na região.



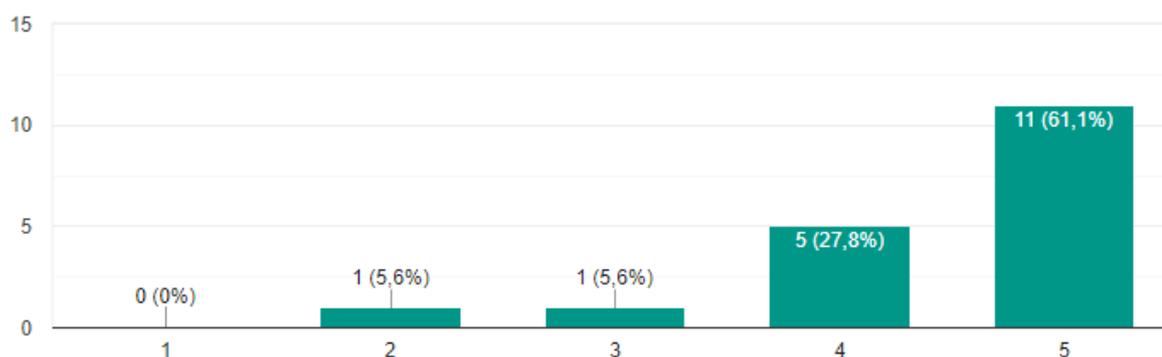
5) A adoção do reúso de água possibilitará a evolução do conhecimento técnico e científico local sobre novas tecnologias.



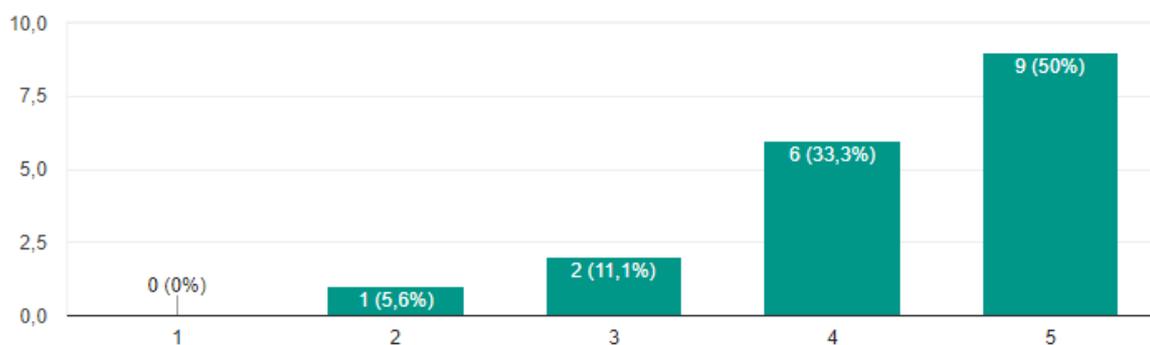
6) O reúso de água poderá viabilizar a instalação e a expansão de negócios e empreendimentos pelo aumento da disponibilidade de água na região.



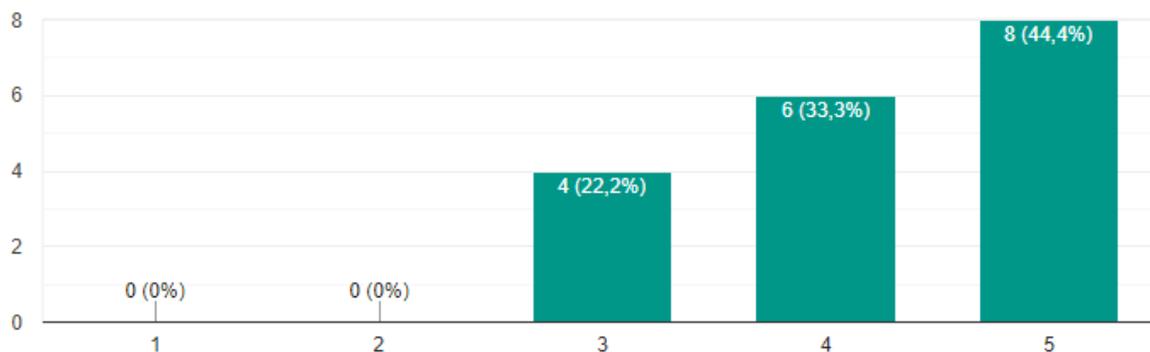
7) Envolvimento das instituições de ensino e universidades da região para a produção de estudos e pesquisas sobre o reúso de água.



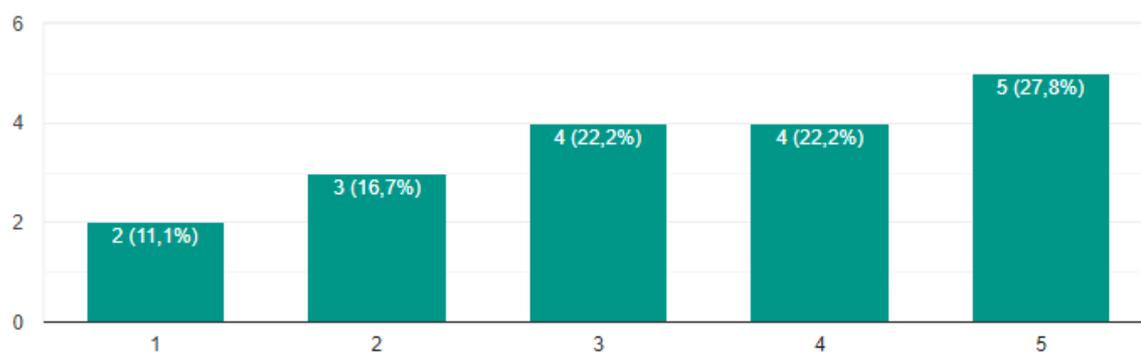
8) A adoção do reúso de água possibilita o aproveitamento de nutrientes presentes no tratamento de esgotos.



9) Aumento da eficiência das estações de tratamento em operação para a produção de água de reúso.

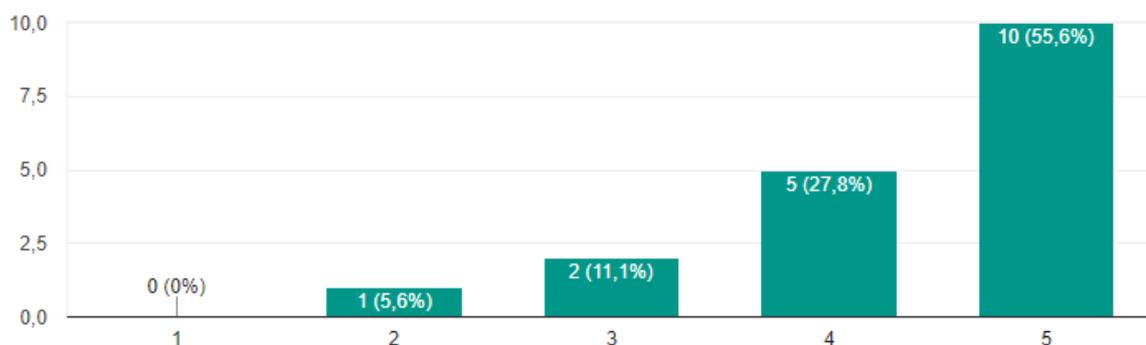


10) O fornecimento de água de reúso pode representar o aumento de receita das entidades operadoras dos serviços de saneamento nos municípios.

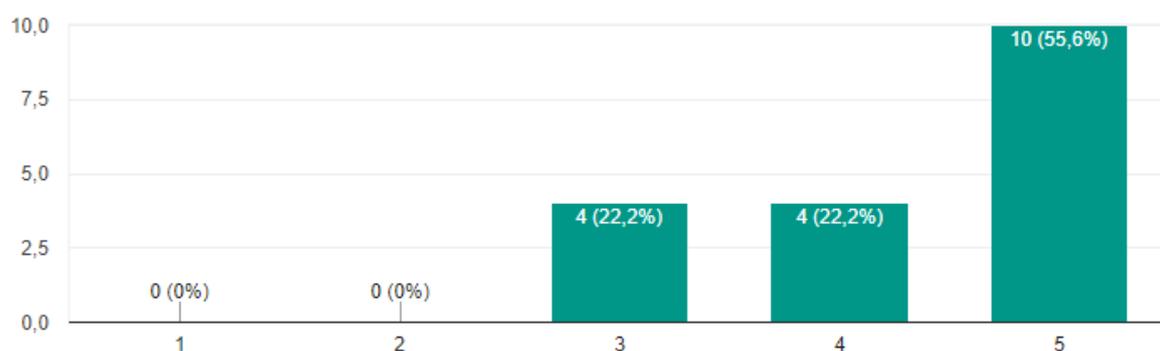


Numa escala de 1 (sem relevância) a 5 (muito relevante), como você classificaria os aspectos abaixo como “**Ameaça**” para o reúso de água na perspectiva da RH10/SC?

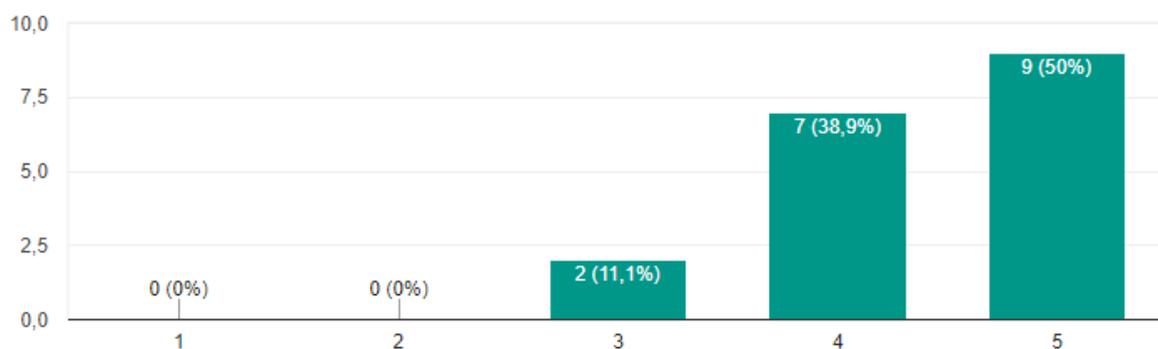
1) Inexistência de legislação e regulamentos para o uso de esgotos tratados no Brasil e em Santa Catarina.



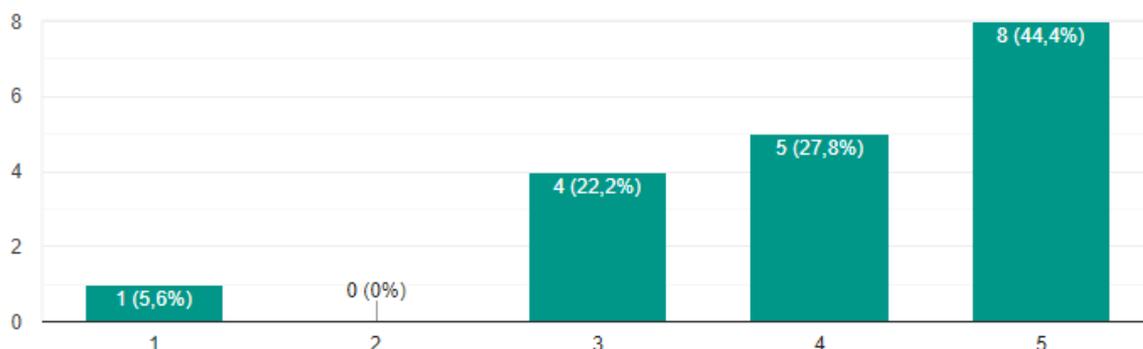
2) Dificuldades para empreender as ações necessárias para a expansão da coleta e do tratamento de esgotos nos municípios.



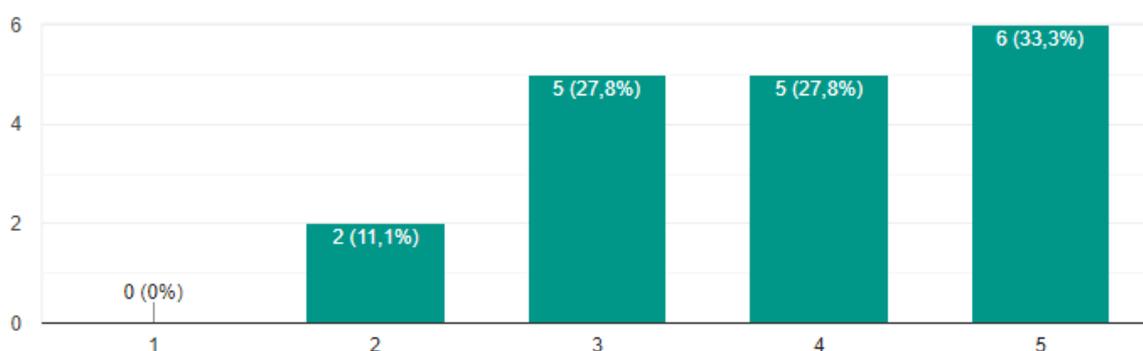
3) Usual baixa mobilização dos governantes municipais sobre temas relacionados ao saneamento e ao meio ambiente.



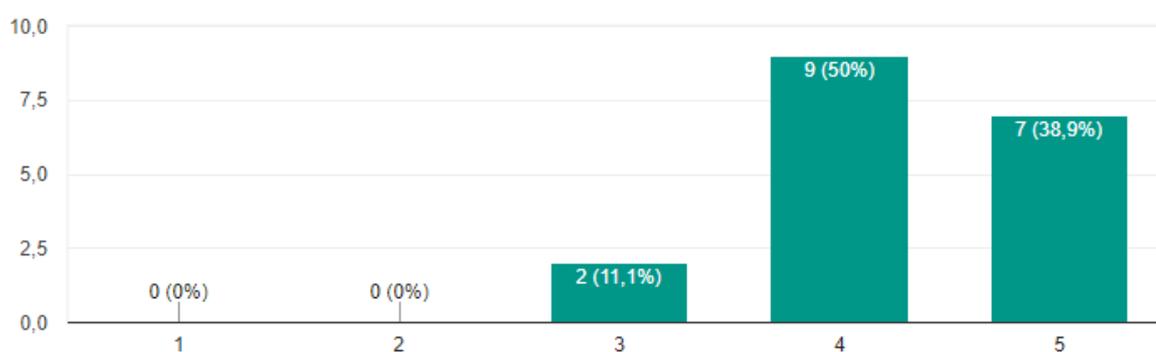
4) Risco de o preço da água de reúso não ser competitivo em comparação com tarifas de água atualmente utilizadas.



5) Falta de apoio e incentivo financeiro dos órgãos governamentais específicos para a promoção do reúso de água.



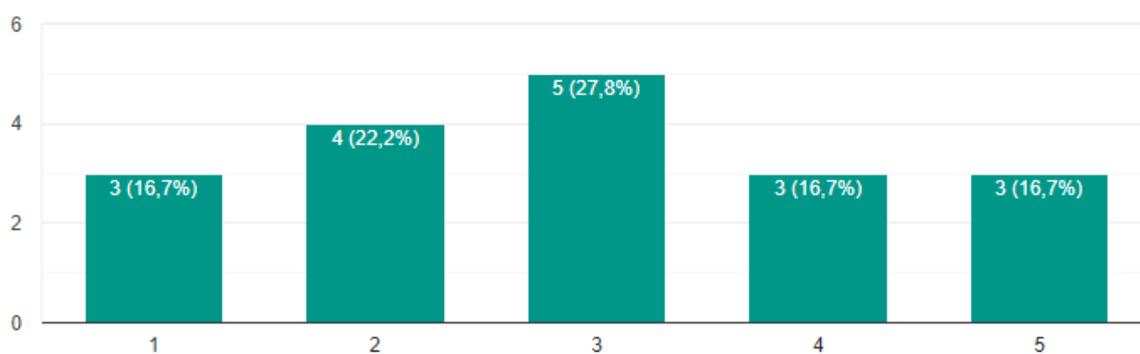
6) Necessidade de investimentos para a produção e distribuição da água de reúso pelas operadoras dos serviços de saneamento nos municípios.



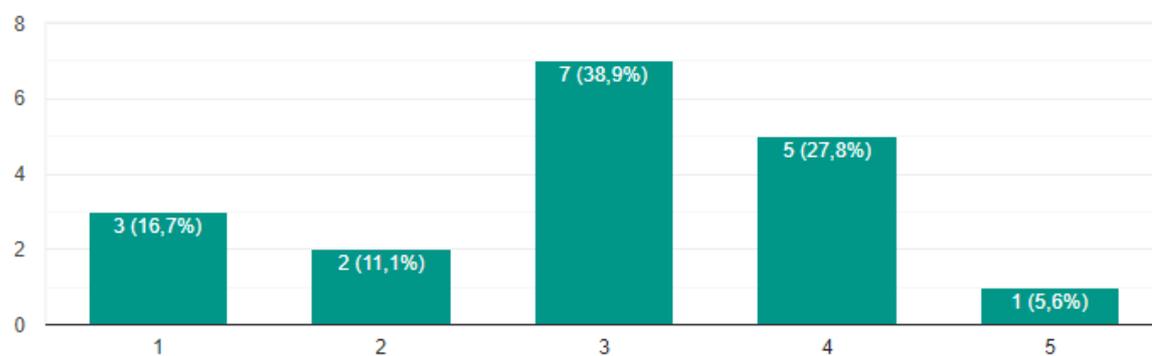
7) Possibilidade de menor rentabilidade dos produtos agrícolas cultivados com água de reúso.



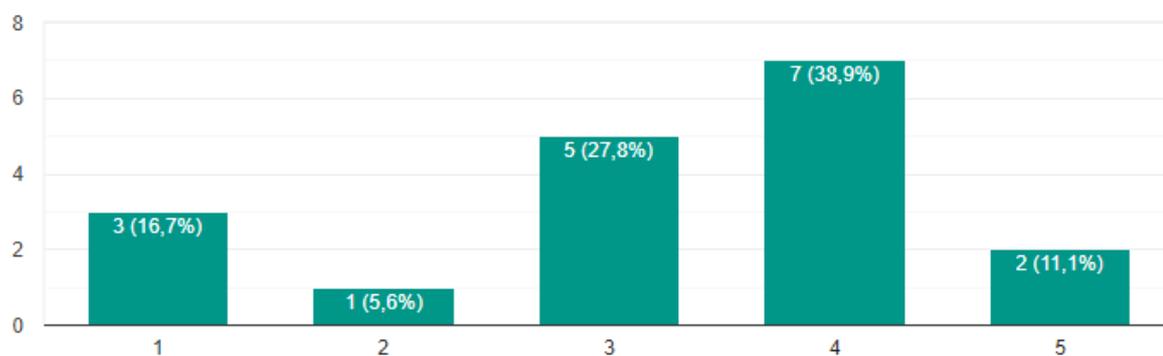
8) Perda de competitividade e mercado de produtos cultivados com água de reúso.



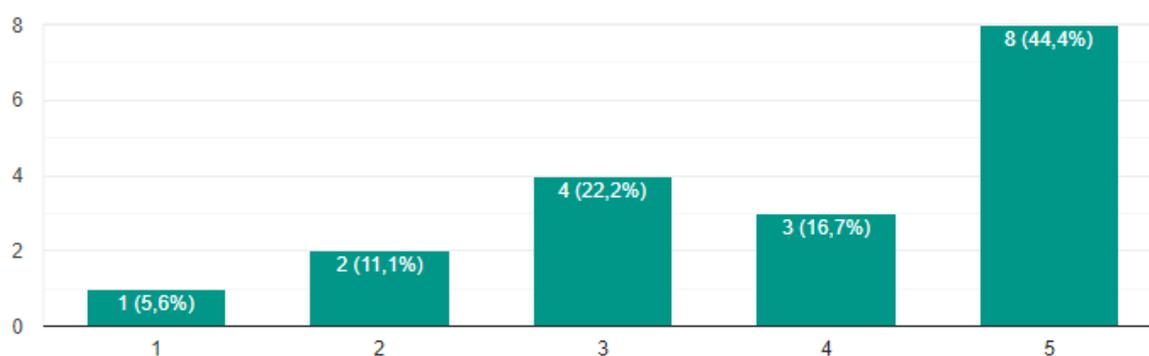
9) Falta de aceitação, por parte dos distribuidores, de produtos irrigados com água de reúso.



10) Relutância na aceitação pública e falta de confiança dos consumidores em produtos irrigados com água de reúso.



11) Fiscalização sobre a segurança alimentar por órgãos de controle.



12) Impacto na produtividade do solo e no rendimento de culturas irrigadas com água de reúso.

