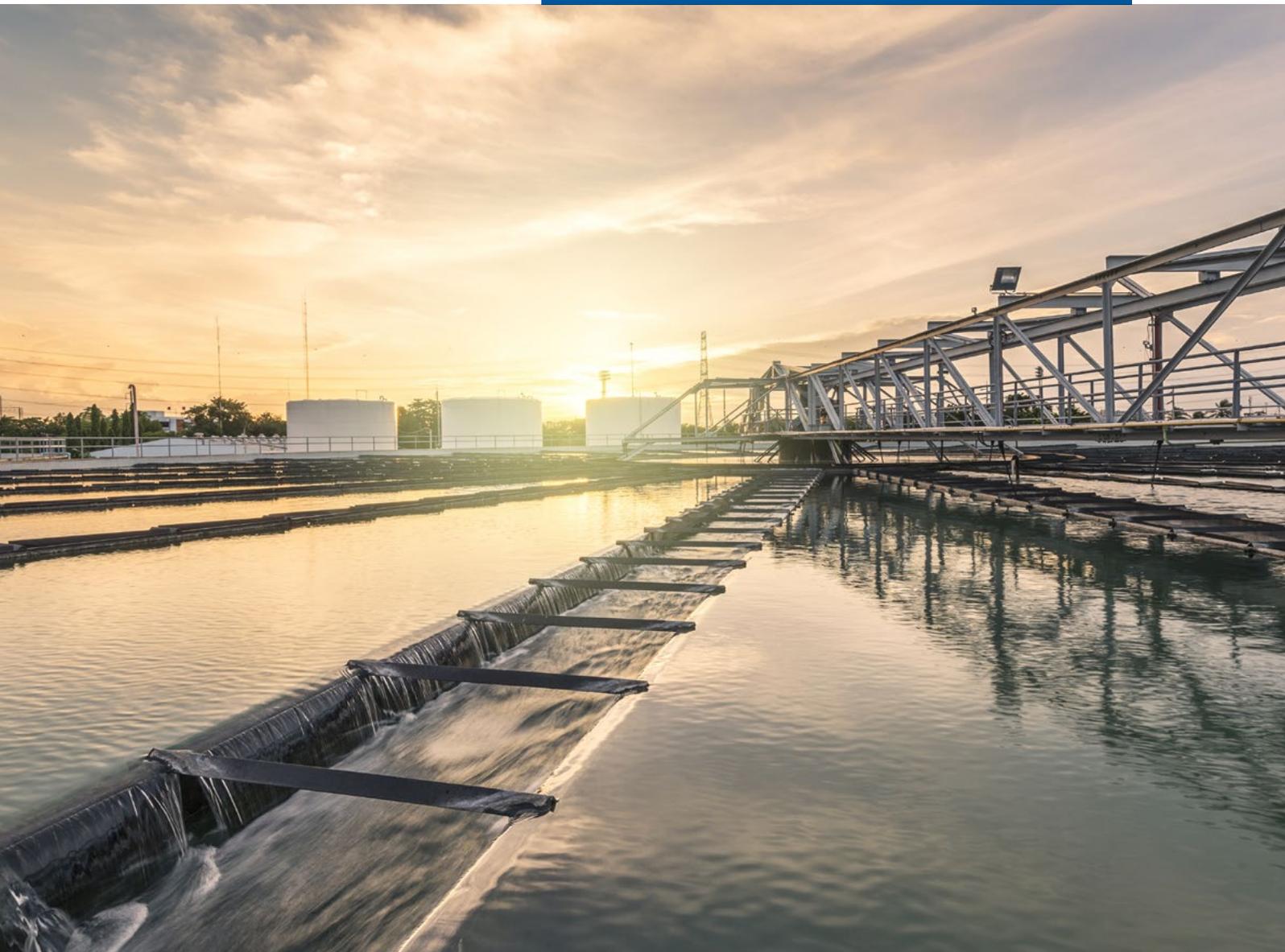


REÚSO DE EFLUENTES PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL

AVALIAÇÃO DA OFERTA E DA DEMANDA
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



FIERGS

Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul

CNI

Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

REÚSO DE EFLUENTES PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL

AVALIAÇÃO DA OFERTA E DA DEMANDA
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente

Gabinete da Presidência

Danusa Costa Lima e Silva de Amorim
Chefe do Gabinete - Diretora

Diretoria de Desenvolvimento Industrial

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor

Diretoria de Relações Institucionais

Roberto de Oliveira Muniz
Diretor

Diretoria de Tecnologia e Inovação

Jefferson de Oliveira Gomes
Diretor

Diretoria de Comunicação

Ana Maria Curado Matta
Diretora

Diretoria Jurídica

Cassio Augusto Muniz Borges
Diretor

Diretoria Corporativa

Cid Carvalho Vianna
Diretor

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – FIERGS**PRESIDENTE**

Gilberto Portello Petry

VICE-PRESIDENTES

Arildo Bennech Oliveira
Cezar Luiz Müller
Cláudio Affonso Amoretti Bier
Gilberto Ribeiro
José Alfredo Laborda Knorr
Ricardo Lins Portella Nunes

DIRETORES

Adair Angelo Niquetti
Alexandre Bittencourt De Carli
Amadeu Pedrosa Fernandes
Antonio Mary Ulrich
Aquiles Dal Molin Junior
Airton Zoch Viñas
Carla Carnevali Gomes
Darcio Klaus
Delorges Antonio Horta Duarte
Élio Jorge Coradini Filho
Ervino Ivo Renner
Gerson Albano Haas
Gilberto Brocco
Gilberto Pedrucci
Hernane Kaminski Cauduro
Iro Schünke
Joni Alberto Matte
Jorge Romeu Ritter
José Augusto Peter Vaniel
José Zagonel
Juarez José Piva
Júlio Carlos Cardoso Kirchhof
Marlos Davi Schmidt
Nelson Eggers
Nerison Antônio Pavaglio
Newton Mario Battastini
Norberto Luiz Pasqualotto
Renato Klein
Ricardo Coelho Michelin
Ricardo José Wirth
Roberto Rene Machemer
Roque Noschang
Serafim Gabriel Quissini
Sérgio Bolzan Panerai
Sérgio de Bortoli Galera
Ubirajara Terra
Volnei Luiz Sebben
Walter Rudi Christmann

DIRETORES-SECRETÁRIOS

Marlos Davi Schmidt
Alexandre Bittencourt De Carli
Juarez José Piva

DIRETORES-TESOUREIROS

Ervino Ivo Renner
Roberto Rene Machemer
Amadeu Pedrosa Fernandes

CONSELHO FISCAL

Gelson de Oliveira
Reomar Angelo Slaviero
Silvio Colombo
Gilberto Luiz Bortoluzzi
João Altair dos Santos
José Roberto Fraga Goulart

DELEGADOS-REPRESENTANTES JUNTO À CNI

Gilberto Porcello Petry
Gilberto Ribeiro
André Meyer da Silva
José Antonio Fernandes Martins

REÚSO DE EFLUENTES PARA ABASTECIMENTO INDUSTRIAL

AVALIAÇÃO DA OFERTA E DA DEMANDA
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



FIERGS

Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul

CNI

Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

© 2024. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade

FICHA CATALOGRÁFICA

C748r

Confederação Nacional da Indústria.

Reúso de efluentes para abastecimento industrial : avaliação da oferta e da demanda no estado do Rio Grande do Sul / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2024.

123 p. : il.

ISBN: 9788579572906

1.Efluentes 2. Reúso Industrial I. Título.

CDU: 628.1

CNI

Confederação Nacional da Indústria

Sede

Setor Bancário Norte

Quadra 1 – Bloco C

Edifício Roberto Simonsen

70040-903 – Brasília – DF

Tel.: (61) 3317-9000

Fax: (61) 3317-9994

<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992

sac@cni.com.br

AGRADECIMENTOS

A realização deste estudo somente foi possível por meio da colaboração de múltiplos atores interessados e engajados no tema do reúso industrial, demonstrando a importância da articulação para o estudo, o planejamento e a difusão da prática. Agradecemos nominalmente:

À Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA) pela disponibilização dos dados de outorgas industriais e pelo indispensável apoio na interpretação e no processamento das informações.

À Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN/Aegea), ao Departamento Municipal de Águas e Esgotos do Porto Alegre (DMAE), ao Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de Caxias do Sul e à Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) pela cessão de dados de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), fundamental para complementação e refinamento das bases de dados do **Atlas Esgotos** da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Valores normalizados dos critérios C1 a C4	32
Mapa 2 – População por município.....	41
Mapa 3 – Regiões Funcionais (RFs) e Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes).....	42
Mapa 4 – Outorgas de captação para fins industriais – por concedente	43
Mapa 5 – Outorgas de captação para fins industriais – por tipo de manancial.....	44
Mapa 6 – Outorgas de captação para fins industriais – por atividade industrial	46
Mapa 7 – Outorgas de captação para fins industriais – por vazão.....	48
Mapa 8 – Outorgas de captação para fins industriais – vazões agrupadas por município.....	49
Mapa 9 – Índice de tratamento de esgotos sanitários referido à água consumida (IN046 do SNIS)	51
Mapa 10 – ETES por processo de tratamento	54
Mapa 11 – ETES por faixa de vazão de projeto e índice de tratamento de esgotos por município	57
Mapa 12 – Sobreposição ETES, outorgas e raio de 10km em torno das ETES – RM de Porto Alegre e Aglomeração Urbana Nordeste RS.....	58
Mapa 13 – Sobreposição ETES, outorgas e raio de 10km em torno das ETES – centro e norte do estado	58
Mapa 14 – Sobreposição ETES, outorgas e raio de 10km em torno das ETES – Aglomeração Urbana Sul do RS e sul do estado	59
Mapa 15 – Sobreposição ETES, outorgas e raio de 10km em torno das ETES – oeste e sudoeste do estado	59
Mapa 16 – Condição de Balanço Hídrico Quali-quantitativo (BQQ).....	60
Mapa 17 – VAB pela indústria em R\$ milhões/ano por município – 2021.....	62
Mapa 18 – VAB pela indústria em R\$ milhões/ano por município – variação percentual anual (%a.a.) entre 2011 e 2021.....	64
Mapa 19 – Oportunidades ETE-usuário – RM Porto Alegre.....	71
Mapa 20 – Oportunidades ETE-usuário – Aglomeração Urbana Nordeste	73
Mapa 21 – Oportunidades ETE-usuário – Aglomeração Urbana Sul.....	74
Mapa 22 – Oportunidades ETE-usuário – Alegrete e Santa Maria	75
Mapa 23 – Oportunidades ETE-usuário – Litoral Norte e Lajeado.....	76
Mapa 24 – Oportunidades ETE-usuário – Passo Fundo e Tapejara	77
Mapa 25 – IAR.....	79
Mapa 26 – IAR e Coredes	80
Mapa 27 – Estudo de caso #1 – Polo Petroquímico de Triunfo – panorama geral de ETES e outorgas industriais.....	86
Mapa 28 – Estudo de caso #1 – Polo Petroquímico de Triunfo – balanço hídrico e índice de tratamento de esgotos	87
Mapa 29 – Estudo de caso #2 – Lajeado – panorama geral de ETES e outorgas industriais	93
Mapa 30 – Estudo de caso #2 – Lajeado – balanço hídrico e índice de tratamento de esgotos.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do modelo do Índice de Aptidão de Reúso (IAR).....	29
Figura 2 – Fluxograma para determinação da Q_r (vazão de referência) das ETEs.....	37
Figura 3 – Índice de tratamento de esgotos sanitários referido à água consumida (IN046 do SNIS).....	50
Figura 4 – Exemplificação dos grupos de classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso	68
Figura 5 – ETEs de acordo com potencial de reúso e grupo	70
Figura 6 – Estudo de caso #1 – arranjo esquemático do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento da Polo Petroquímico de Triunfo a partir do SITEL	89
Figura 7 – Estudo de caso #1 – perfil de elevação do terreno	90
Figura 8 – Estudo de caso #2 – arranjo esquemático do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento da BRF em Lajeado.....	97
Figura 9 – Estudo de caso #2 – perfil de elevação do terreno	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bases de dados utilizadas neste estudo.....	25
Tabela 2 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 1 – Critérios.....	31
Tabela 3 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 2 – Subcritérios.....	31
Tabela 4 – Seções e divisões CNAE 2.0 contempladas no estudo.....	33
Tabela 5 – Bases de dados de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) consultadas.....	35
Tabela 6 – Agrupamento de processos de tratamento.....	38
Tabela 7 – Outorgas de captação por concedente.....	43
Tabela 8 – Outorgas de captação por manancial.....	44
Tabela 9 – Outorgas de captação por atividade industrial.....	45
Tabela 10 – Outorgas de captação por município e atividade industrial.....	47
Tabela 11 – Distribuição dos municípios por faixa de Índice de Tratamento de Esgotos Sanitários referido à água consumida (IN046 do SNIS).....	50
Tabela 12 – Índices relativos ao abastecimento de água e à coleta e tratamento de esgoto.....	52
Tabela 13 – Informações e indicadores de saneamento por município em 2021 – 20 municípios com as maiores populações totais.....	52
Tabela 14 – ETEs por processo de tratamento.....	54
Tabela 15 – Dez maiores ETEs em termos de vazão de referência.....	55
Tabela 16 – ETEs por município e processo de tratamento.....	55
Tabela 17 – Valor Adicionado Bruto (VAB) industrial por município em 2021, em ordem decrescente de VAB.....	61
Tabela 18 – Variação do VAB industrial por município entre 2020-2021, em ordem decrescente da variação.....	63
Tabela 19 – Principais pontos da Resolução Consema nº419/2020.....	65
Tabela 20 – Compilação de referências legais estaduais de interesse.....	65
Tabela 21 – Classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso.....	68
Tabela 22 – ETEs classificadas conforme grupo de potencial de reúso.....	69
Tabela 23 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes.....	78
Tabela 24 – Análise dos Coredes prioritários de acordo com os resultados de IAR.....	81
Tabela 25 – Estudo de caso #1 – variáveis de projeto adotadas.....	90
Tabela 26 – Estudo de caso #1 – Capex, Opex e custos unitários.....	91
Tabela 27 – Estudo de caso #2 – outorgas consideradas no projeto esquemático.....	96
Tabela 28 – Estudo de caso #2 – variáveis de projeto adotadas.....	98
Tabela 29 – Estudo de caso #2 – Capex, Opex e custos unitários.....	99
Tabela 30 – Síntese dos resultados – Modelo ETE-usuário.....	104
Tabela 31 – Síntese dos resultados –IAR.....	105

LISTA DE ACRÔNIMOS

Sigla	Significado
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BQQ	Balço Hídrico Qualiquantitativo
Capex	<i>Capital Expenditures</i>
CIRRA-USP	Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da Universidade de São Paulo
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI	Confederação Nacional de Indústria
COREDE	Conselhos Regionais de Desenvolvimento
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMAE POA	Departamento Municipal de Águas e Esgotos do Porto Alegre
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPAR	Estação Produtora de Água de Reúso
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FAS	Filtro Aerado Submerso
FBP	Filtro Biológico Percolador
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FIERGS	Federação Estadual das Indústrias do Rio Grande do Sul
IAR	Índice de Aptidão de Reúso
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEDE/RS	Infraestrutura Estadual da Dados Espaciais do Rio Grande do Sul
MBR	<i>Membrane Bioreactor</i> (Biorreator com membranas)
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MMAD	Modelo Multicritério de Apoio à Decisão
Opex	<i>Operational Expenditures</i>
OR	Osmose Reversa
POA	Porto Alegre
Q_{afl}	Vazão afluente
Q_{NP}	Vazão não potável
Q_{out}	Vazão outorgada
Q_{proj}	Vazão de projeto
Q_{R}	Vazão de referência das ETES
RF	Região Funcional
RM-POA	Região Metropolitana de Porto Alegre
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul/RS
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul

Sigla	Significado
SITEL	Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Líquidos do Polo Petroquímico do Sul em Triunfo/RS
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
VAB	Valor Adicionado Bruto
VPL	Valor Presente Líquido
ΣQout	Somatório das vazões outorgadas

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO CNI	15
APRESENTAÇÃO FIERGS	17
RESUMO EXECUTIVO	18
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Escopo e objetivo	23
2 METODOLOGIA.....	25
2.1 Estrutura geral.....	25
2.2 Fontes e bases de dados	25
2.3 Oportunidades de reúso por ETE-usuário.....	26
2.4 Oportunidades de reúso pelo Índice de Aptidão de Reúso (IAR).....	27
2.5 Estruturação e processamento de dados.....	33
2.5.1 Demandas industriais de água.....	33
2.5.2 Estações de tratamento de esgotos.....	35
2.5.2.1 Integração das bases de dados, remoção de duplicatas e exclusão de registros inconsistentes.....	35
2.5.2.2 Vazão de referência da ETE (Q_R).....	36
2.5.2.3 Agrupamento dos processos de tratamento	37
3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO	41
3.1 Demografia e território.....	41
3.2 Demandas de água pela indústria.....	43
3.3 Geração e tratamento de esgotos.....	49
3.3.1 Índices de coleta e tratamento	49
3.3.2 Estações de tratamento de esgotos.....	53
3.4 Relação de oferta e demanda	57
3.5 Balanço hídrico.....	60
3.6 Perfil e distribuição da indústria	61
3.7 Legislação sobre reúso	64
4 RESULTADOS	67
4.1 Oportunidades de reúso por ETE-usuário.....	67
4.1.1 Região Metropolitana de Porto Alegre (RM-POA).....	70
4.1.2 Aglomeração Urbana Nordeste	72
4.1.3 Aglomeração Urbana Sul	73
4.1.4 Outras regiões.....	74
4.1.4.1 Alegrete e Santa Maria.....	75
4.1.4.2 Litoral Norte e Lajeado.....	76
4.1.4.3 Passo Fundo e Tapejara	77
4.2 Oportunidades de reúso pelo Índice de Aptidão de Reúso (IAR).....	78

5 ESTUDOS DE CASO.....	85
5.1 Estudo de caso #1: Polo Petroquímico de Triunfo	85
5.1.1 Contexto.....	85
5.1.2 Projeto esquemático.....	87
5.1.3 Discussão.....	92
5.2 Estudo de caso #2: ETE Lajeado.....	92
5.2.1 Contexto.....	92
5.2.2 Projeto esquemático.....	94
5.2.3 Discussão.....	100
6 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS.....	108
ANEXO A – MODELO DO ÍNDICE DE APTIDÃO DE REÚSO (IAR) – ASPECTOS METODOLÓGICOS	111
ANEXO B – INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE PROCESSAMENTO DE DADOS	115
ANEXO C – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	119
ANEXO D – ESTIMATIVAS DE CUSTOS.....	121

APRESENTAÇÃO CNI

A segurança hídrica, conforme preconizado pela Organização das Nações Unidas, visa assegurar o acesso sustentável à água de qualidade e em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, ao bem-estar humano e ao desenvolvimento socioeconômico. Soma-se a isso a necessidade de promover a adaptação do setor industrial à mudança do clima, com a adoção de práticas ambientalmente apropriadas do uso dos recursos hídricos.

Dessa forma, o conceito de water positive foi desenvolvido e adotado globalmente por indústrias transnacionais que têm o objetivo de reduzir seu consumo operacional de água e compensá-lo com a implementação de alguns mecanismos. São exemplos os sistemas de reúso de efluentes sanitários, dessalinização de água salobra e do mar, captação de chuvas, purificação, e projetos de reflorestamento e de recarga de aquíferos, entre outras iniciativas concentradas em bacias hidrográficas que sofrem estresse hídrico.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI), alinhada com as mais modernas práticas de utilização dos recursos naturais, desde 2017 estuda o potencial do uso de efluentes tratados para abastecimento industrial. A análise leva em consideração que as águas servidas ou residuais podem ser transformadas em matéria-prima para a diversificação da matriz de oferta desse insumo para a indústria.

A metodologia foi desenvolvida a partir da região metropolitana de São Paulo (RMSP), em parceria com o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, da Universidade de São Paulo, e com a empresa InfinityTech. Com o trabalho, foi possível chegar a valores de oferta de efluentes em relação à demanda industrial e realizar as estimativas financeiras para viabilizar a utilização desse recurso. O estudo-piloto¹ identificou o potencial do esgoto tratado, por meio das estações de tratamento localizadas na RMSP e disponibilizadas pela Companhia Estadual de Saneamento Básico (Sabesp).

O levantamento da demanda de água do setor industrial considerou as empresas que se encontravam na área de até 10km² em torno das estações. O critério para escolher onde fazer a segunda etapa do estudo foi a situação crítica, em termos de balanço hídrico e da severidade de escassez qualitativa e quantitativa, que são sinais de baixa segurança hídrica. Foram realizados sete estudos ao longo dos anos (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Maranhão), mantendo-se a metodologia, que, aplicada ao Rio Grande do Sul, resultou no presente estudo.

Todos os estudos levaram em conta os instrumentos de planejamento ambiental de cada estado, a regionalização dos custos econômicos e o aprimoramento do Índice de Aptidão de Reúso (IAR). A sinergia criada entre a CNI, as Federações das Indústrias e os estados conduziu não apenas à avaliação da oferta e da demanda por reúso de efluentes para abastecimento industrial, mas também a uma estratégia que promova o acesso sustentável à água, além do desenvolvimento econômico e social.

Em parceria com a Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul (FIERGS), a CNI apresenta este estudo com o objetivo de compreender quais são e onde estão as oportunidades de reúso de água a partir de efluentes sanitários tratados no estado. Ao mesmo tempo, queremos contribuir para efetivar um dos pilares da redução dos riscos de desastres: a prevenção contra a insegurança hídrica.

Acreditamos que os resultados obtidos, assim como os próprios métodos, auxiliarão os tomadores de decisão no aprofundamento dos estudos e na definição dos investimentos necessários para garantir a segurança hídrica das indústrias no Rio Grande do Sul.

Boa leitura.

Antonio Ricardo Alvarez Alban

Presidente da CNI

APRESENTAÇÃO FIERGS

A indústria do Rio Grande do Sul tem sido pioneira na adoção de práticas de gestão ambiental, com foco especial no uso eficiente da água e no tratamento de efluentes. A garantia e a segurança no fornecimento deste insumo serão diferenciais competitivos para as próximas décadas.

As recentes secas severas no Estado não só impactaram o setor agrícola, mas também colocaram em risco o suprimento de água para a indústria, afetando a produção e causando prejuízos econômicos significativos.

É crucial adotarmos técnicas que preservem a água e assegurem a continuidade dos nossos sistemas produtivos diante das alterações climáticas atuais. A prática de reúso de efluentes tratados representa uma solução vital para a manutenção da segurança hídrica nos processos fabris.

O presente estudo, realizado em parceria entre a FIERGS e a CNI, busca compreender onde e quais são as oportunidades potenciais de reutilização industrial da água no Rio Grande do Sul, com base na configuração geográfica dos Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes).

Cabe destacar que esses Conselhos desempenham um papel essencial na formulação de políticas em todas as Regiões gaúchas, considerando as particularidades locais para impulsionar o desenvolvimento.

A FIERGS espera que este estudo estimule investimentos e esforços direcionados ao reaproveitamento da água, e segue empenhada para o avanço de ações que assegurem a sustentabilidade hídrica da indústria do Rio Grande do Sul.

Boa leitura.

Gilberto Porcello Petry

Presidente da Fiergs

RESUMO EXECUTIVO

A necessidade de alcançar a segurança hídrica para a indústria

A CNI, com base nos eventos críticos dos últimos anos que afetaram e podem afetar o setor industrial, desenvolveu uma metodologia para avaliar o potencial do reúso de efluentes tratados (esgoto) para abastecimento industrial. Essa metodologia, a um só tempo, evita a poluição dos corpos hídricos e os conserva para o abastecimento público, materializando o conceito de segurança hídrica que, entre outras dimensões, visa garantir o desenvolvimento socioeconômico dos entes subnacionais e do país.

A utilização de água de reúso no setor industrial se apresenta como uma alternativa promissora para a gestão sustentável dos recursos hídricos, contribuindo para a mitigação dos impactos da escassez e do estresse hídrico. No entanto, a viabilidade dessa prática enfrenta diversos desafios, sendo a identificação da demanda um dos principais obstáculos.

A demanda por água na indústria é complexa e multifacetada, variando significativamente entre setores, empresas e até mesmo dentro de um mesmo processo produtivo. Essa variabilidade decorre de diversos fatores, como:

Tipo de Indústria: Cada setor industrial possui características e necessidades específicas de água, influenciadas pelos produtos fabricados, pelos processos empregados e pelas tecnologias disponíveis.

Localização: A disponibilidade e qualidade da água variam de acordo com a região, impactando diretamente na demanda e nas alternativas de reúso.

Escala de Produção: Empresas de maior porte geralmente apresentam demandas mais elevadas por água, exigindo soluções de reúso em larga escala.

Processos Produtivos: Diferentes etapas dentro de um mesmo processo podem demandar qualidades distintas de água, o que exige flexibilidade e adaptabilidade dos sistemas de reúso.

Tecnologias Empregadas: As tecnologias de reúso disponíveis variam em termos de eficiência, custo e aplicabilidade, influenciando na viabilidade da implementação em cada caso.

No que se refere à oferta, quase 90 milhões de brasileiros (55,8%) têm acesso à coleta de esgoto. Esse efluente pode ser usado pela indústria, desde que sejamos capazes de identificar e localizar as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), dimensionar a capacidade instalada e o tipo de tratamento utilizado.

A criação de áreas de abrangência com raio fixo (10 km neste estudo) ao redor de ETEs selecionadas abre caminho para um estudo aprofundado da viabilidade da distribuição de água de reúso. Essa iniciativa inovadora oferece diversas vantagens e contribui para a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em regiões com escassez hídrica.

A metodologia

A CNI, comprometida com o uso sustentável dos recursos naturais, em parceria com o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA) da Universidade de São Paulo (USP), desenvolveu uma metodologia para avaliar o potencial do reúso de efluentes tratados para abastecimento industrial. A metodologia foi concebida originalmente para a região metropolitana de São Paulo e, posteriormente, aplicada em outros sete estados brasileiros (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Maranhão).

O reúso de água, no recorte deste estudo realizado para o estado do Rio Grande do Sul, consiste na produção de água não potável a partir dos efluentes tratados de ETEs municipais, isto é, aquelas que tratam os efluentes gerados por usos domésticos, comerciais e alguns industriais dos municípios. Este efluente, já tratado pelas ETEs para atendimento à legislação ambiental, pode ser submetido a tratamento complementar para adequar a sua qualidade aos padrões exigidos para diversas aplicações industriais.

O presente estudo realizou duas abordagens distintas e complementares, cujas premissas adotadas – desenvolvimento, aplicação e resultados.

A primeira abordagem, denominada ETE-usuário, tem o propósito de caracterizar os usuários industriais localizados próximos às ETEs existentes, bem como indicar os locais onde a concentração de demandas industriais tem potencial de uso de água de reúso a partir de futuras estações.

Seu principal objetivo é avaliar a relação entre as atuais ofertas de água de reúso (ETEs) e os potenciais usuários (indústrias), a partir de análise primariamente geográfica (localização), dado que um dos principais atributos a serem levados em consideração é a distância entre o local da produção de água de reúso e o usuário final, complementada por uma análise quantitativa, considerando a disponibilidade de esgotos e as demandas exercidas.

A segunda abordagem que tem por base a definição do Índice de Aptidão de Reúso (IAR), possui caráter mais abrangente, analisando o território com base em unidades geográficas mais vastas, como municípios e/ou microbacias hidrográficas.

Em linhas gerais, o modelo resulta em valor numérico que representa a aptidão de reúso de uma determinada área.

Boa leitura.

Roberto Muniz

Diretor de Relações Institucionais da CNI



1 INTRODUÇÃO

1.1 ESCOPO E OBJETIVO

O estudo *Avaliação de viabilidade do reúso de água para fins industriais a partir de efluentes sanitários no Estado do Rio Grande do Sul* objetiva identificar as oportunidades de reúso industrial não potável no estado.

O agravamento da questão hídrica no Brasil é um tema amplamente conhecido nos meios especializados e pela população em geral. O aumento das demandas de água para usos múltiplos ocorre concomitantemente com a redução da disponibilidade hídrica natural em muitas regiões, a qual é agravada pela degradação da qualidade dos mananciais, pelas transposições de bacias, pelas disputas pelo uso da água e pelos efeitos das mudanças climáticas. Isso resulta em inevitável incremento dos níveis de estresse hídrico, cenário no qual a busca por fontes alternativas de água é importante instrumento de planejamento e gestão.

O reúso de água, no recorte deste estudo, consiste na produção de água não potável a partir dos efluentes tratados de Estações de Tratamento de Esgotos municipais, isto é, aquelas que tratam os efluentes gerados por usos domésticos, comerciais e alguns industriais dos municípios. Este efluente, já tratado pelas ETEs para atendimento à legislação ambiental, pode ser submetido a tratamento complementar para adequar a sua qualidade aos padrões exigidos para muitas aplicações industriais.

Com a perspectiva apresentada, este estudo buscou compreender onde e quais são as oportunidades de reúso industrial no Estado do Rio Grande do Sul a partir de efluentes sanitários. Isso foi realizado utilizando duas abordagens distintas e complementares, cujas premissas adotadas – desenvolvimento, aplicação e resultados – são apresentadas neste documento. Destaca-se que o presente estudo objetiva dar subsídios para planejadores e tomadores de decisão na busca de soluções estruturadas de reúso de água, com vista ao aumento da segurança hídrica da região, além de mostrar aos grupos interessados as potencialidades do reúso de água como oportunidade de desenvolvimento econômico e social integrado à proteção do meio ambiente.



2 METODOLOGIA

2.1 ESTRUTURA GERAL

O objetivo deste estudo foi identificar e caracterizar as oportunidades de reúso não potável industrial no Estado do Rio Grande do Sul. Para isso, a exemplo de estudos já realizados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) e por algumas federações estaduais, foram adotadas duas metodologias específicas, as quais avaliam as potencialidades de reúso sob óticas distintas e complementares.

- A primeira delas é a identificação de oportunidades de reúso de água por **ETE-usuário (Item 2.3)**.
- A segunda é a identificação de oportunidades de reúso de água pelo **Índice de Aptidão de Reúso (IAR) (Item 2.4)**.

2.2 FONTES E BASES DE DADOS

As principais bases de dados utilizadas neste estudo, bem como as respectivas fontes, forma de obtenção e procedimentos de pré-processamento estão apresentadas na Tabela 1. Enquanto as informações adicionais sobre cada tipo de dados são apresentadas em tópicos específicos ao longo do documento.

TABELA 1 – Bases de dados utilizadas neste estudo

Tipo	Nome	Produtor / fonte	Obtenção / acesso	Pré-processamento e saneamento
Bases de dados	Outorgas estaduais de captação para fins industriais	SEMA	Dados fornecidos diretamente pela SEMA do Rio Grande do Sul	Conforme apresentado no Item 2.5.1
	Outorgas federais de captação para fins industriais	ANA	Outorgas emitidas — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)	
	Estações de tratamento de esgoto	Empresas de saneamento	Articulação via FIERGS	Conforme apresentado no Item 2.5.2
		ANA	Atlas Esgotos	
	Dados de saneamento básico (água e esgoto) por município	MDR	SNIS – Série Histórica	-/-
Valor Adicionado Bruto (VAB) pela indústria por município	IBGE	Produto Interno Bruto dos Municípios IBGE	-/-	

Tipo	Nome	Produtor / fonte	Obtenção / acesso	Pré-processamento e saneamento
Bases de dados	Balço hídrico quali-quantitativo	ANA	Catálogo de Metadados da ANA (snirh.gov.br)	-/-
Shapefiles e raster	Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes)	IEDE	Geoportal IEDE	-/-
	Regiões Funcionais (RFs)	IEDE	Geoportal IEDE	-/-
	Hidrografia	FEPAM	FEPAM – Arquivos digitais para uso em SIG	-/-
	Limites municipais	FEPAM	FEPAM – Arquivos digitais para uso em SIG	-/-
	Modelo Digital de Elevação (MDE)	Weber <i>et al.</i> (2004)	Laboratório de Geoprocessamento » Modelos Digitais de Elevação do SRTM no formato GEOTIFF (ufrgs.br)	-/-

Fonte: elaborado pelos autores.

2.3 OPORTUNIDADES DE REÚSO POR ETE-USUÁRIO

A identificação de oportunidades de reúso de água por **ETE-usuário** leva em consideração características das ofertas de esgotos pelas ETES e das demandas de água pela indústria, usuários industriais outorgados, a partir da avaliação de suas vazões e localizações. Em resumo, o propósito é caracterizar os usuários industriais localizados próximos às ETES existentes, bem como indicar os locais onde a concentração de demandas industriais tem potencial de uso de água de reúso a partir de futuras estações.

Seu principal objetivo é avaliar a relação entre as atuais ofertas de água de reúso (ETEs) e os potenciais usuários (indústrias), a partir de análise primariamente geográfica (localização), dado que um dos principais atributos a serem levados em consideração é a distância entre o local da produção de água de reúso e o usuário final, complementada por uma análise quantitativa, considerando a disponibilidade de esgotos e as demandas exercidas.

O método adotado é composto, em linhas gerais, pelos seguintes procedimentos.

1. Caracterização das demandas de água com base nos registros de outorgas estaduais e federais, considerando as vazões outorgadas, o tipo de atividade econômica de acordo com a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE) 2.0 e a localização. Mais detalhes no Item **2.5.1**.

2. Caracterização das ETEs do estado, contemplando suas vazões (Q_R , vazão de referência¹), o processo de tratamento utilizado e sua localização. Mais detalhes no **Item 2.5.2**.
3. Avaliação dos usuários localizados nas proximidades das estações a partir da delimitação da área de influência definida por um raio de 10 km em torno das ETEs e do cômputo das outorgas contidas nessa área.
4. Avaliação do potencial de reúso por ETE e identificação de agrupamentos de usuários que podem ser atendidos por futuras ETEs.

Nos **Item 2.5 – Estruturação e processamento de dados**, alguns desses procedimentos são apresentados com um maior nível de detalhes. Os resultados da avaliação por ETE-usuário são apresentados no **Item 4.1**.

2.4 OPORTUNIDADES DE REÚSO PELO ÍNDICE DE APTIDÃO DE REÚSO (IAR)

O método ETE-usuário apresentado no **Item 2.3** possui abordagem focada nas ETEs e nas demandas industriais próximas, realizando análises individualizadas entre essas entidades. De outra forma, a identificação de oportunidades de reúso de água pelo **Índice de Aptidão de Reúso (IAR)** possui caráter mais abrangente, analisando o território com base em unidades geográficas mais vastas, como municípios e/ou microbacias hidrográficas.

O IAR foi desenvolvido e aplicado no estudo para o Estado do Maranhão, o qual compõe esta série de estudos da CNI em parceria com as Federações da Indústria. No caso do Rio Grande do Sul, foram realizadas algumas modificações, motivadas pelo fato de que o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado, ainda, não está publicado.

O IAR é baseado em análise multicritério, fazendo uso de um Modelo Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD), o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), um MMAD de análise hierárquica com base no princípio da comparação de pares (SAATY, 2008).

1 A vazão de referência (Q_R) é uma grandeza adotada neste estudo para quantificação da capacidade das ETEs. No **Item 2.5.2**, são apresentados mais detalhes sobre a variável.

O AHP foi aplicado juntamente com o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), configurando o que é denominado SIG-MMAD. Todos os procedimentos de SIG foram realizados em *Quantum GIS 3 (QGIS3)*². Mais informações sobre o uso de SIG constam do **Anexo C**.

Em linhas gerais, o modelo resulta em valor numérico que representa a aptidão de reúso de uma determinada área em relação às demais, permitindo a classificação das áreas consideradas de acordo com o respectivo valor de IAR.

Simplificadamente, o modelo do IAR opera de acordo com o seguinte reacional:

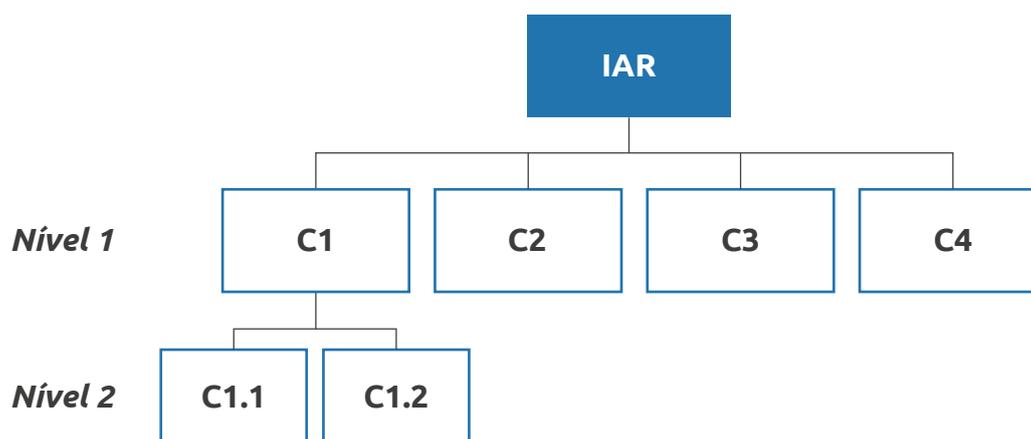
- Tem como objetivo apresentar uma variável quantitativa que expresse a atratividade de reúso em determinada área.
- Utiliza critérios considerados importantes para a identificação de determinada área como apta à prática de reúso industrial.
- A cada critério, é atribuído um peso (ou relevância) que o classifica em relação aos demais. Esse procedimento é realizado pela comparação paritária entre os critérios. Outros procedimentos, como análise de consistência e derivação de prioridades, são também previstos para obtenção das importâncias de cada um dos critérios.
- O modelo possui dois níveis: Nível 1 – critérios; Nível 2 – subcritérios. Somente o critério C1 possui subcritérios.
- Cada critério representa um atributo real que é expresso por uma variável qualitativa ou quantitativa – por exemplo, o valor da demanda industrial. Como é comum que cada critério possua natureza, unidade e abrangência distintas entre si, é necessário adotar um padrão único para sua utilização. Isso é feito por meio de um procedimento denominado “normalização”.
- A normalização consiste na conversão dos valores de cada critério para uma escala específica. Adotou-se uma escala de 0 a 1, sendo que 0 representa a condição menos desejável em relação ao objetivo do modelo e, analogamente, 1 equivale à condição mais desejável. As normalizações foram realizadas por transformação linear ou regra discreta específica.
- A partir dos pesos dos critérios e dos valores normalizados, o IAR é calculado para cada região pelo somatório dos produtos entre os critérios e os valores normalizados.
- A comparação dos valores de IAR por região indica quais são as que possuem maior atratividade para o reúso. Quanto maior o IAR, mais apta ao reúso é a área.

Informações adicionais sobre procedimentos específicos do modelo são apresentadas no **Anexo A**.

2 Software livre disponível para download em: <https://qgis.org/en/site/>.

Foram adotados quatro critérios e dois subcritérios considerados relevantes para cálculo da aptidão de reúso de cada região, conforme os tópicos a seguir e a Figura 1.

FIGURA 1 – Estrutura do modelo do Índice de Aptidão de Reúso (IAR)



Legenda

IAR – Índice de Aptidão de Reúso

C1 – Critério 1: Valor Adicionado Bruto (VAB) Industrial

C1.1 – Subcritério 1.1: VAB Industrial em 2021

C1.2 – Subcritério 1.2: VAB Industrial - variação %aa (ao ano) entre 2011 e 2021

C2 – Critério 2: Demandas Industriais

C3 – Critério 3: Geração de Esgotos

C4 – Critério 4: Balanço Hídrico

Fonte: elaborado pelos autores.

O modelo é composto pelos seguintes critérios e subcritérios:

C1. Valor Adicionado Bruto (VAB) industrial

- **Nome:** Valor Adicionado Bruto (VAB) pela indústria
- **Unidade:** R\$MM/ano (milhões de reais por ano)
- **Unidade geográfica:** município
- **Justificativa e uso:** O VAB foi utilizado como indicador da intensidade da atividade industrial, partindo-se do pressuposto de que uma maior atividade industrial em determinada área implica maior aptidão de reúso. Foram considerados, na forma de subcritérios, tanto o valor absoluto do VAB no último ano-base (2021), quanto a tendência dos últimos 10 anos (2011-2021), de modo a compreender não somente o retrato mais atual, mas também a tendência para os próximos anos.

- **Subcritérios:** Sim
 - **1.1 VAB industrial em 2021:** valor, em R\$MM/ano, do VAB industrial para o ano-base mais recente (2021).
 - **1.2 Variação %aa do VAB industrial entre 2011-2021:** variação, em % ao ano (a.a.), do VAB industrial nos últimos 10 anos (2011-2021).
- **Fontes de dados:** [Produto Interno Bruto dos Municípios | IBGE](#) (*vide* Tabela 1).

C2. Demandas industriais

- **Descrição:** soma das demandas industriais a partir de outorgas de captação.
- **Unidade:** L/s.
- **Unidade geográfica:** município (outorgas agregadas por município).
- **Justificativa e uso:** As demandas industriais são evidentemente um dos principais fatores para a aptidão do reúso industrial. Foram consideradas as vazões médias outorgadas para fins industriais agregadas por município, partindo-se do pressuposto de que quanto maiores as demandas de água pela indústria maior a aptidão de reúso.
- **Fontes de dados:** outorgas de captação industriais com base em dados da SEMA (2023) e da ANA (2024) (*vide* Tabela 1).

C3. Geração de esgotos

- **Descrição:** vazão de esgotos domésticos gerada por cada município.
- **Unidade:** L/s.
- **Unidade geográfica:** município.
- **Justificativa e uso:** Em se tratando de reúso de água a partir de efluentes sanitários, a oferta destes é necessária para produção de água de reúso e consequente abastecimento das demandas. Assim, definiu-se que, quanto maior a geração de esgotos sanitário, maior a aptidão de reúso.
- **Fonte de dados:** SNIS (*vide* Tabela 1). O SNIS não apresenta informações ou indicadores de geração de esgotos *per se*, e, por isso, foi utilizado o indicador AG010 (consumo de água potável) como valor para a vazão de esgoto gerado, procedimento adotado pelo próprio SNIS para o cálculo dos indicadores de tratamento esgoto – que são calculados com base na água consumida.

C4. Balanço hídrico

- **Descrição:** condição de balanço hídrico qualiquantitativo por microbacia hidrográfica.
- **Unidade:** não possui (qualitativo).
- **Unidade geográfica:** microbacia hidrográfica.
- **Justificativa e uso:** O balanço hídrico qualiquantitativo é um critério não numérico que classifica a condição de balanço hídrico levando em consideração aspectos quantitativos (vazões retiradas *versus* disponibilidade hídrica natural) e qualitativos

(comprometimento da qualidade dos mananciais). Em outras palavras, o balanço qualiquantitativo é uma análise integrada da criticidade sob os pontos de vista qualitativo e quantitativo³. Definiu-se que, quanto mais crítico o balanço hídrico, mais desejável e necessária é a diversificação de fontes de água, isto é, maior a aptidão de reúso.

- **Fonte de dados:** [Catálogo de Metadados da ANA \(snirh.gov.br\)](https://snirh.gov.br) (vide Tabela 1).

O modelo é baseado na atribuição de pesos paritários entre cada um dos critérios e subcritérios, chegando-se a valores de peso global para cada um deles. Assim, a partir da atribuição paritária de importâncias, da análise de consistência e da derivação de prioridades, chegou-se aos pesos da Tabela 2 (Nível 1 – Critérios) e Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3 (subcritérios). Os processos de atribuição paritária de importâncias e derivação de prioridades (pesos) constam do **Anexo A**.

TABELA 2 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 1 – Critérios

Sigla	Critério	Escala	Unidade	Peso global (w)
C1	VAB industrial	Município	R\$MM/ano	0,269
C2	Demanda industrial	Município	L/s	0,381
C3	Esgoto gerado	Município	L/s	0,222
C4	Balanço hídrico	Microbacia	–	0,128

Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 3 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 2 – Subcritérios

Sigla	Subcritério	Escala	Unidade	Peso local (w)
C1.1	VAB industrial em 2021	município	R\$MM/ano	0,750
C1.2	Variação % a.a. do VAB industrial entre 2011-2021	município	% a.a.	0,250

Fonte: elaborado pelos autores.

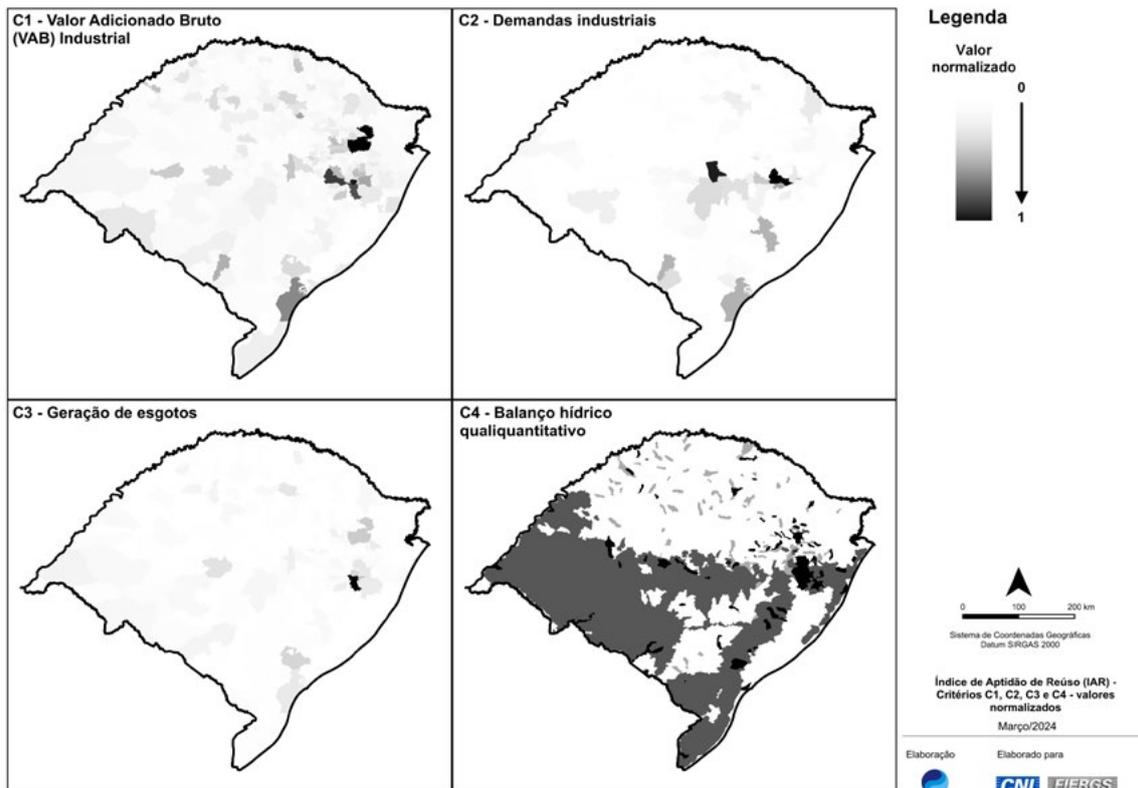
Os pesos apresentados significam que, no caso do Nível 1, o C1 representa 0,269 (ou 26,9%) do peso total dos critérios, analogamente que também se aplica para todos os outros. O peso global (w) é a representação numérica da importância global do critério em relação aos demais. No caso dos subcritérios C1.1 e C1.2, os quais estão aninhados no critério C1, os pesos mostrados na Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3 são os locais, enquanto os globais são obtidos pela multiplicação pelo peso global do critério pai (C1).

3 Conforme <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=33722737-dc4a-466f-a2f4-d4e16642acec>.

Para aplicação no modelo, os valores brutos de cada critério devem ser normalizados, o que foi feito por transformação linear para uma escala entre 0 (zero) e 1 (um), conforme é mostrado no Anexo A. O Mapa 1 mostra os valores normalizados de cada critério (Nível 1). Os subcritérios C1.1 e C1.2 não são mostrados no mapa, mas possuem comportamento análogo.

MAPA 1 – Valores normalizados dos critérios C1 a C4



Fonte: elaborado pelos autores.

A partir dos valores normalizados (N) e dos pesos (w) para cada critério, o IAR é calculado segundo a Equação 1:

$$IAR = \sum_i^n (N_{Ci} \times w_i)$$

Equação 1

- IAR Índice de Atratividade de Reúso (IAR)
- N_i Valor normalizado para o critério "Ci"
- w Peso do critério "Ci"
- n Quantidade de critérios

Ao utilizar os pesos apresentados na Tabela 2 na Equação 1, o IAR, então, é calculado pela Equação 2:

$$IAR = 0,269N_{C1} + 0,381N_{C2} + 0,222N_{C3} + 0,128N_{C4} \quad \text{Equação 2}$$

IAR Índice de atratividade de reúso
 N_{1-4} Valor normalizado dos critérios 1 a 4

No caso do Nível 2 (subcritérios), o cálculo é realizado de forma análoga, porém utilizando-se os pesos locais de cada um dos subcritérios.

2.5 ESTRUTURAÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

As principais informações utilizadas neste estudo são referentes às demandas industriais de água e à geração de esgotos e capacidade de tratamento das estações. Em razão da natureza dos dados e da necessidade de múltiplas bases de dados com origens e estruturas diferentes, foram necessários procedimentos específicos para sua utilização, os quais são explicados nos itens a seguir.

2.5.1 DEMANDAS INDUSTRIAIS DE ÁGUA

As demandas de água para uso industrial foram identificadas a partir de registros de outorgas de captações subterrâneas e superficiais concedidas por órgãos estaduais e pela ANA para a indústria.

As tipologias industriais consideradas foram baseadas na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foram consideradas somente as atividades constantes nas seções de B a F da CNAE 2.0, contemplando as divisões de 5 a 43, conforme a Tabela 4.

TABELA 4 – Seções e divisões CNAE 2.0 contempladas no estudo

Seção CNAE 2.0	Descrição	Divisão CNAE 2.0
B	Indústrias extrativas	5 a 9
C	Indústrias de transformação	10 a 33
D	Eletricidade e gás	35
E	Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	36 a 39
F	Construção	41 a 43

Fonte: elaborado pelos autores.

Existem limitações no uso de outorgas para estimativa das demandas de água, como a conhecida existência de captações não outorgadas, principalmente de águas subterrâneas, imprecisões em dados de vazão média e localização das outorgas e o fato de muitos usuários não captarem exatamente a vazão outorgada, bem como a existência de variações sazonais das demandas de água.

No entanto, mesmo consideradas as limitações apresentadas, o uso das outorgas justifica-se pelos seguintes aspectos:

- São a única fonte de informação de demanda de água passível de geolocalização por ponto coordenado, bem como obtenção de informações de atividade econômica (via Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas – CNPJ do requerente/outorgado), informações indispensáveis para a análise ETE-usuário.
- As vazões outorgadas, por serem, geralmente, superiores às vazões efetivamente extraídas, correspondem às potenciais demandas máximas de cada usuário e região. Portanto, este estudo – em razão de seu caráter de planejamento estratégico entre expansão/adequação da infraestrutura de saneamento básico, gestão de recursos hídricos e desenvolvimento industrial – utilizou os dados de outorgas para estimativa do potencial de reúso.
- As outorgas são instrumentos de gestão de recursos hídricos utilizados por todos os estados brasileiros para águas subterrâneas.

As bases de dados utilizadas foram os relatórios de outorgas federais (ANA, 2024) e os bancos de dados recebidos diretamente da SEMA (2023).

- Os dados da SEMA foram selecionados pela secretaria e disponibilizados já previamente tratados. Isto é, constavam somente outorgas ativas e para fins industriais. Foram realizadas algumas rodadas de esclarecimentos junto à secretaria para refinamento dos dados, o que é apresentado no **Anexo B**.
- Os dados da ANA são disponibilizados na página da agência de forma bastante objetiva e organizada. Foram aplicados filtros simples para seleção dos usos industriais e das outorgas ativas. Esses procedimentos constam do **Anexo B**.
- As bases de dados da ANA e da SEMA foram integradas para uso e inserção em ambiente SIG.
- A **vazão média outorgada** foi determinada considerando-se a vazão concedida e conversão do valor registrado para L/s com base em 365 dias/ano e 86.400 s/dia.
- A **atribuição de atividade econômica** foi realizada com base no CNPJ dos requerentes e nas pesquisas na internet. Dado que há mais de 1.600 outorgas concedidas, não foi viável a busca individual de cada um dos outorgados. Assim, buscou-se atribuir a tipologia de quantidade de usuários que representassem mais de 95% da vazão

outorgada total no estado. Para alguns usuários, a atividade primária nos registros não era industrial, então, nesses casos, adotou-se a primeira atividade de tipologia industrial relacionada como atividade econômica secundária.

2.5.2 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

As ofertas potenciais de esgoto tratado foram identificadas por meio de informações das estações de tratamento de esgotos (ETEs) existentes. Foram utilizadas, principalmente, as informações sobre os processos de tratamento, as vazões e a localização de cada instalação. As bases de dados utilizadas foram as do **Atlas Esgotos** (ANA, 2017) e as cedidas diretamente pelas empresas locais de saneamento, notadamente a CORSAN, DMAE POA e SAMAE Caxias do Sul.

2.5.2.1 Integração das bases de dados, remoção de duplicatas e exclusão de registros inconsistentes

As bases consultadas foram as relacionadas na Tabela 5, na qual também constam considerações sobre sua utilização.

TABELA 5 – Bases de dados de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) consultadas

Fonte	Qtde. de registros	Utilizada
CORSAN	87 ETEs 60 municípios	Sim.
DMAE Porto Alegre	8 ETEs 1 município	Sim.
SAMAE Caxias do Sul	8 ETEs 1 município	Sim.
ANA – Atlas Esgotos 2013	135 ETEs 57 municípios	Sim. Conforme explicado no Item 2.5.2.1 a seguir, priorizou-se o uso das bases de dados “locais” – isto é, as das empresas de saneamento do estado. Assim, na ocorrência de duplicatas, foram utilizadas as informações da CORSAN ou SAMAE Caxias do Sul
ANA – Atlas Esgotos 2019	181 ETEs 73 municípios	Não. Apesar de ser a base mais atualizada do Atlas Esgotos , não apresenta dados de vazão afluente ou de projeto

Fonte: elaborado pelos autores.

Para os municípios em que há operação da CORSAN, DMAE POA ou SAMAE Caxias do Sul, houve ocorrência de duplicatas com os dados do **Atlas Esgotos**. A remoção das duplicatas, no entanto, não pôde ser realizada de forma direta, dado que, na maioria dos casos, o nome atribuído pelo **Atlas Esgotos** não é o mesmo utilizado nas bases de dados das empresas e, evidentemente, as coordenadas também não são coincidentes. Por isso, a remoção de duplicatas foi realizada em ambiente SIG, identificando-se, com base em imagens de satélite, quando há dois registros para uma mesma estação.

Algumas coordenadas foram ajustadas com base nas imagens de satélite, dado que era notável seu deslocamento em relação à localização real da ETE. Na base de dados do **Atlas Esgotos**, é comum também que as coordenadas indiquem o ponto outorgado de lançamento no corpo hídrico receptor, e não o da ETE, o que pode gerar imprecisões para a sua localização, podendo variar de poucos metros até alguns quilômetros, o que depende da extensão do emissário.

Também foram excluídos registros considerados inconsistentes em razão da inexistência de ETEs nas imagens de satélites e por estarem localizadas em áreas desprovidas de qualquer infraestrutura correlata.

2.5.2.2 Vazão de referência da ETE (Q_R)

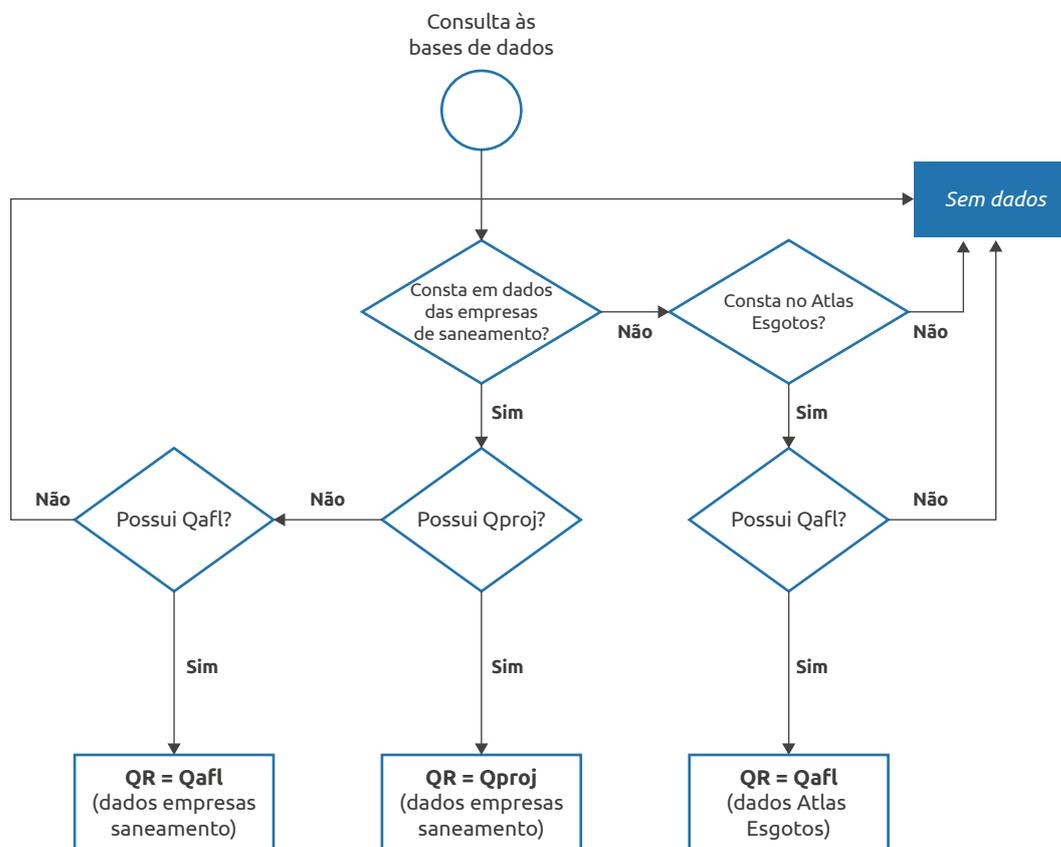
Para se trabalhar com uma variável única de vazão, optou-se pela criação da grandeza **vazão de referência da ETE**, expressada por Q_R . Isso foi necessário porque as informações sobre as ETEs são por vezes incompletas, já que nem sempre constam dados de vazão de projeto (capacidade) e de vazão afluente – aquela que, de fato, chega à estação.

A Q_R para cada ETE foi determinada segundo os seguintes critérios:

1. Foram utilizados, prioritariamente, os dados de vazão fornecidos pelas empresas de saneamento do estado. A prioridade é o uso de dados de vazão de projeto (Q_{proj}), mas, na sua ausência, adotou-se o valor de vazão afluente (Q_{afl}).
2. Na ausência de dados nas bases de dados das empresas de saneamento, utilizou-se a base de dados do **Atlas Esgotos** 2013. Há uma versão mais atualizada do **Atlas Esgotos** (ano-base 2019), a qual, no entanto, não apresenta dados de vazão das ETEs. Por isso, foram utilizados os dados do ano-base 2013.
3. No caso dos dados do Atlas Esgotos, adotou-se o mesmo critério #1 de priorização de dados de vazão de projeto.

Optou-se pelo uso prioritário da vazão de projeto e não o da vazão afluente, pelo fato de a primeira representar as capacidades máximas de tratamento das ETEs, o que, assim como no caso das outorgas, é mais aderente ao escopo de planejamento estratégico do presente estudo.

A Figura 2 ilustra os critérios listados anteriormente.

FIGURA 2 – Fluxograma para determinação da Q_R (vazão de referência) das ETEs**Legenda**

Qproj: Vazão de projeto
Qafl: Vazão afluente
QR: Vazão de referência

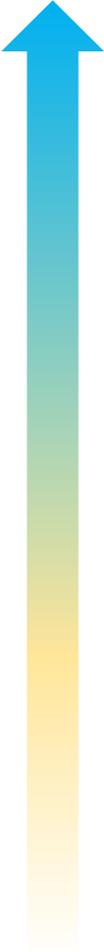
Fonte: elaborado pelos autores.

2.5.2.3 Agrupamento dos processos de tratamento

De modo a uniformizar a terminologia adotada para avaliação das estações, foi realizado o agrupamento dos processos de tratamento informados nas bases de dados. Pelas bases de dados brutos, foram identificados mais de 80 valores diferentes de processos de tratamento, sendo que muitos são similares em termos de rota tecnológica e de qualidade final do efluente tratado.

O critério utilizado para o agrupamento foi o de semelhança de infraestrutura requerida e a qualidade do efluente final tratado, conforme mostra a Tabela 6.

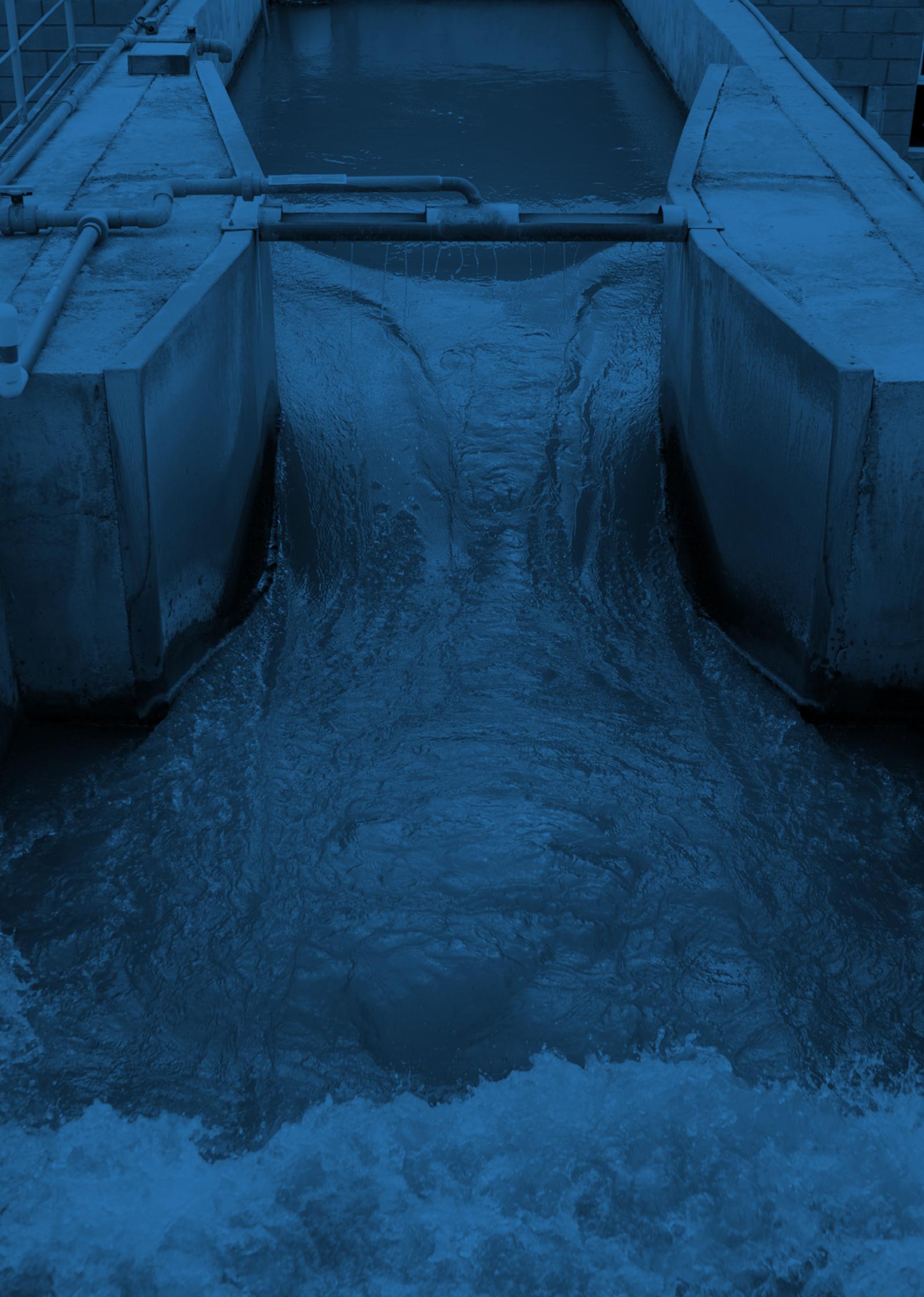
TABELA 6 – Agrupamento de processos de tratamento

Qualidade efluente tratado	Grupo adotado	Processos contemplados
 <p>Maior qualidade</p>	Terciário	Processos biológicos aeróbios seguidos de etapa de remoção de nutrientes e/ou separação avançada de sólidos (filtração terciária ou membranas de MF/UF).
	Lodos ativados e similares	Biomassa granular <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR) <i>Integrated Fixed film Activated Sludge</i> (IFAS) Lodos ativados com aeração prolongada Lodos ativados por batelada Lodos ativados convencional Lodos ativados de alta taxa
	Outros processos aeróbios	Filtro Aerado Submerso (FAS) Biodisco Filtro Biológico Percolador (FBP)
	Físico-químico	Flotação por ar dissolvido Decantação secundária quimicamente assistida
	UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB) Reatores anaeróbios
	Lagoas	Lagoas aeróbias + lagoa decantação Lagoa aerada facultativa Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa Lagoa facultativa
	Biosistemas	Biodigestor + filtro anaeróbio + <i>wetlands</i> Biodigestor + filtro anaeróbio
	Fossa-filtro	Fossa séptica + filtro anaeróbio Decanto-digestor + filtro anaeróbio
	Preliminar/primário	Estação de Pré-Condicionamento (EPC) Decantação primária quimicamente assistida Decantação primária Tanque Imhoff Apenas gradeamento e/ou desarenador
	Menor qualidade	Outros

Fonte: elaborado pelos autores.

Assim, os mais de 80 valores identificados foram agrupados em 10 grupos distintos, que, por serem mais abrangentes, acabam contemplando rotas tecnológicas ligeiramente diferentes entre si. Dentro de um mesmo grupo, é esperado que existam variações relevantes na qualidade, como no caso dos grupos “Lodos ativados e similares” e “Lagoas”, em que se nota a multiplicidade de arranjos de tratamento contemplados. No entanto, a diferença entre os grupos é maior que a diferença interna de cada grupo, o que justifica a simplificação adotada.

Definiu-se que o agrupamento é feito pelo processo principal mais avançado da estação. Isto é, se uma ETE é dotada de UASB + FBP, ela está no grupo “outros processos aeróbios”, e assim analogamente para outros casos.



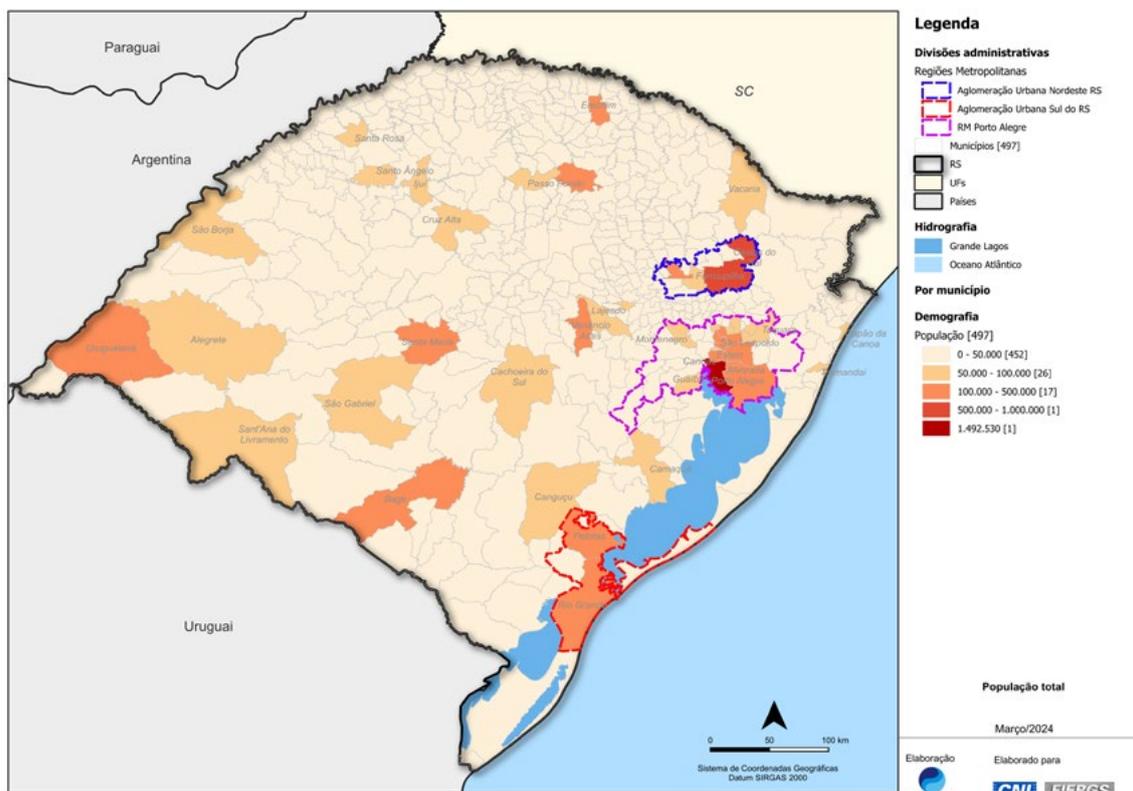
3 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO

3.1 DEMOGRAFIA E TERRITÓRIO

O Rio Grande do Sul é constituído por 497 municípios e é o sexto estado mais populoso do País com 10.882.965 habitantes distribuídos em 281.707 km² (IBGE, 2023a). Como em outras regiões do País, a distribuição da população no estado também não é uniforme. No caso do Rio Grande do Sul, o eixo Porto Alegre – Caxias do Sul corresponde à área mais povoada do estado, com densidade demográfica superior a 1.000 hab./km².

O Mapa 2 mostra a distribuição da população por município, bem como as principais regiões metropolitanas e os aglomerados urbanos do Rio Grande do Sul.

MAPA 2 – População por município



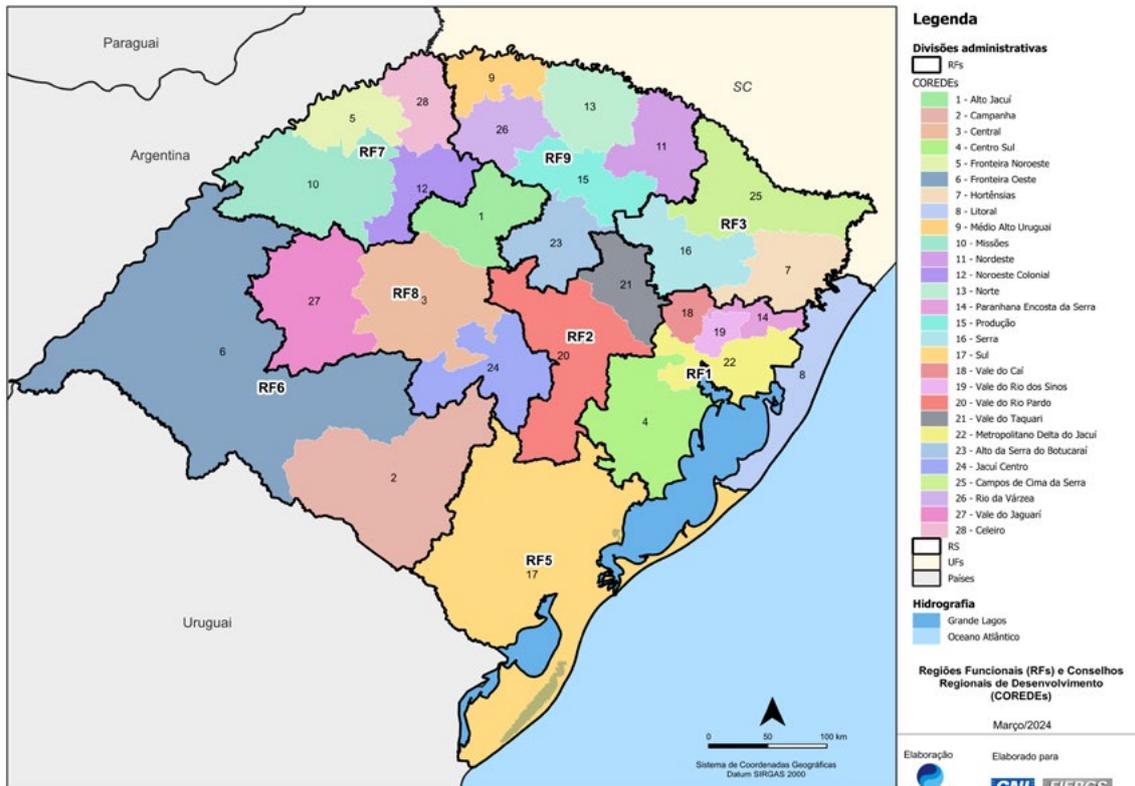
Fonte: elaborado pelos autores. Fonte: dados do IBGE (2023a).

O estado utiliza, em seu planejamento e gestão territorial, a figura dos Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes). O COREDE é um fórum em que são discutidas e definidas as implementações de políticas e ações, mediante a participação de representantes de todos os segmentos da sociedade e a partir das necessidades e condições locais, visando ao desenvolvimento regional.

Atualmente, o Estado do Rio Grande do Sul é dividido em 28 Coredes, integrados por agrupamentos de municípios, sem levar em consideração o conceito de bacia hidrográfica contemplado nas políticas nacional e estadual de gerenciamento de recursos hídricos. Com a finalidade de aprimorar o planejamento, os Coredes foram agrupados em nove Regiões Funcionais (RFs). O critério para definição do agrupamento foi a similaridade em relação às características econômicas, ambientais e sociais dos municípios, entre outros.

O Mapa 3 mostra os 28 Coredes e as 9 RFs do Rio Grande do Sul.

MAPA 3 – Regiões Funcionais (RFs) e Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes)



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte: dados da Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais do Rio Grande do Sul – IEDE (2024).

3.2 DEMANDAS DE ÁGUA PELA INDÚSTRIA

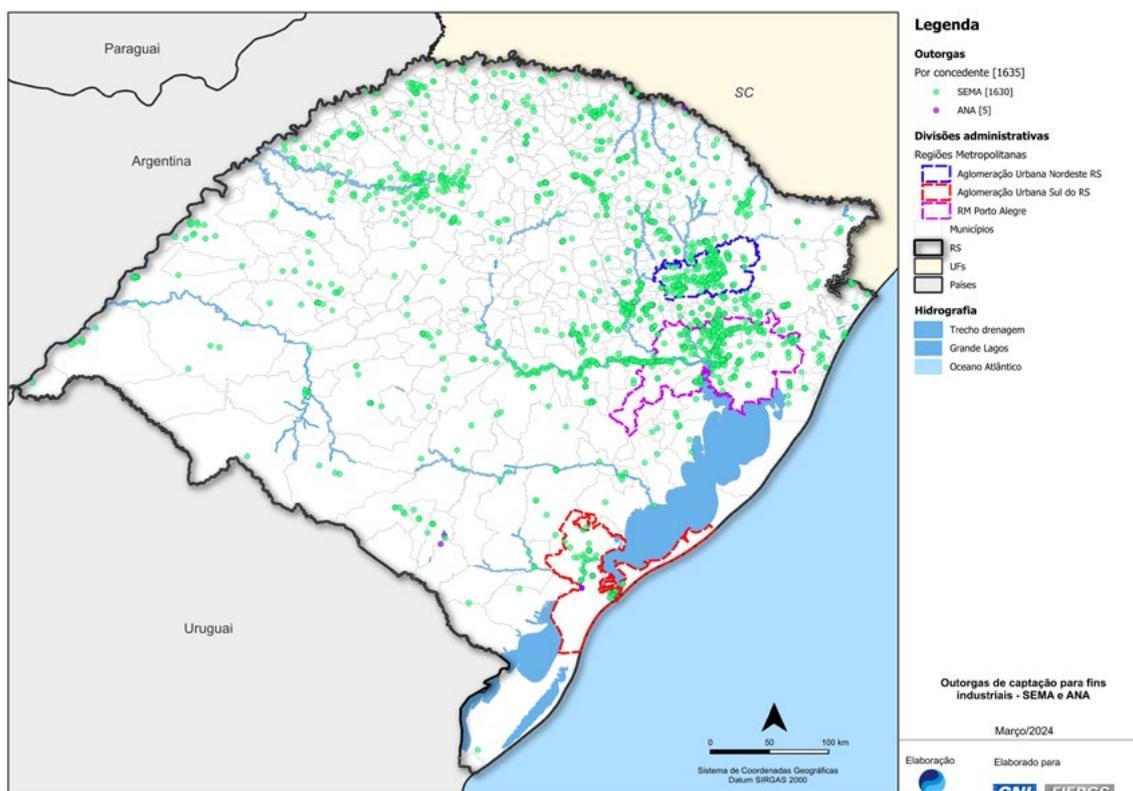
As demandas de água pelas indústrias foram estudadas sob a ótica das outorgas de captação concedidas, conforme explicado no **Item 2.5.1**. Após a aplicação de filtros e demais procedimentos de pré-processamento (*vide 2.5*), chegou-se à base integrada de outorgas que soma 1.635 registros e vazão outorgada de 19.929 L/s, como mostra a Tabela 7.

TABELA 7 – Outorgas de captação por concedente

Concedente	Qméd (L/s)	%Qméd	Qtde. registros
SEMA	17.973	90,2	1.630
ANA	1.956	9,8	5
Total	19.929	100,0	1.635

Isto é, quase a totalidade das outorgas, em quantidade ou vazão, é de captações de corpos hídricos de domínio estadual, conforme mostra o **Mapa 4**.

MAPA 4 – Outorgas de captação para fins industriais – por concedente



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte: dados da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul – SEMA (2023) e ANA (2024a).

Em relação aos mananciais utilizados, a maior parte da vazão outorgada é referente a captações superficiais. Dos 19.929 L/s do estado, 18.008 L/s (90,3%) são captações superficiais, com os demais 1.924 L/s (9,7%) referentes à água subterrânea. Em relação ao número de outorgas, do total de 1.635, 1.153 são para águas subterrâneas, ou 75,4% do total. Esse cenário é comumente observado no Brasil, em que as outorgas subterrâneas são mais numerosas, mas possuem vazões concedidas baixas em comparação às superficiais. A Tabela 8 resume os dados de outorgas por tipo de manancial.

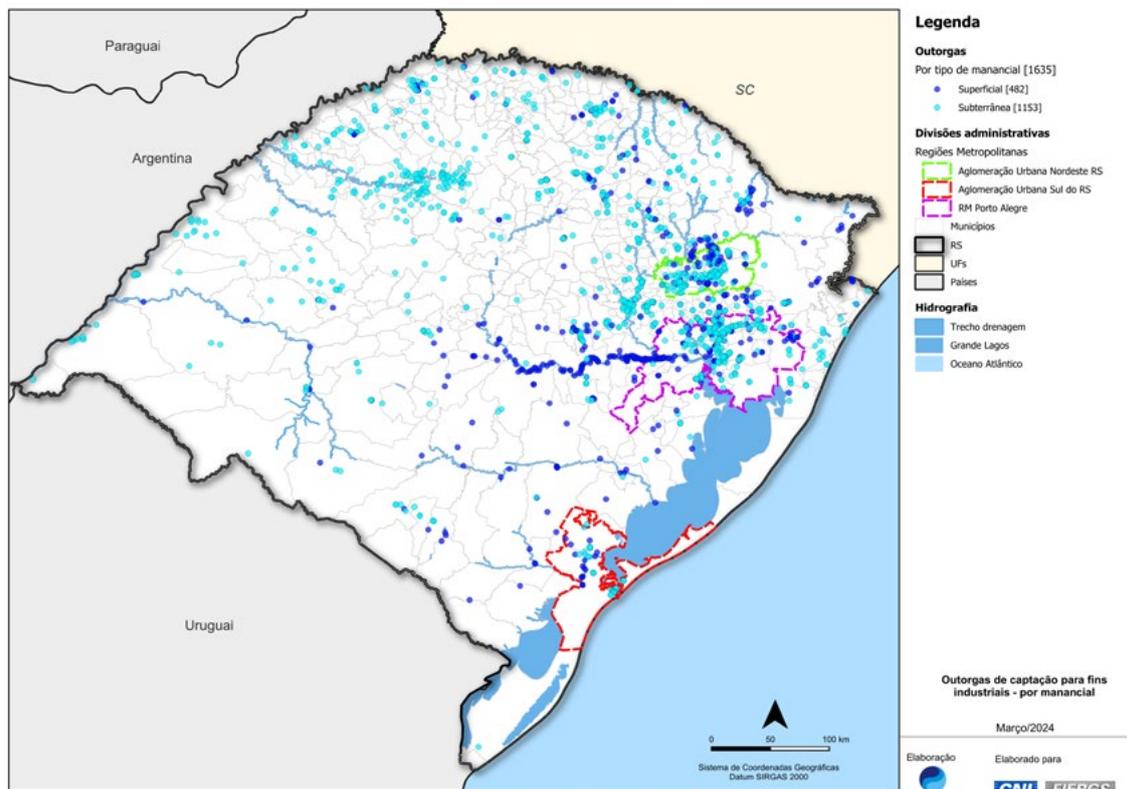
TABELA 8 – Outorgas de captação por manancial

Tipo de manancial	Qout L/s)	%Qout	Qtde.	%Qtde.
Superficial	18.005	90,3%	482	24,5
Subterrânea	1.924	9,7	1.153	75,5
Total	19.929	100,0	1.635	100

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a)

O Mapa 5 mostra a distribuição das outorgas por tipo de manancial.

MAPA 5 – Outorgas de captação para fins industriais – por tipo de manancial



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a).

Em termos de segmentos industriais, o panorama é conforme apresentado na Tabela 9

TABELA 9 – Outorgas de captação por atividade industrial

Segmento ^(a)	Qout ^(b) (L/s)	%Qout	Qtde ^(c)	%Qtde	Q _{méd} por outorga (L/s) ^(d)
8 – Extração de minerais não metálicos	4.252	21,3	119	7,2	36
10 – Fabricação de produtos alimentícios	3.550	17,8	243	14,7	15
23 – Fabricação de produtos de minerais não metálicos	3.074	15,4	6	0,3	512
36 – Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	2.676	13,4	3	0,0	892
35 – Eletricidade, gás e outras utilidades	1.668	8,4	8	0,4	208
24 – Metalurgia	1.101	5,5	14	0,4	79
<i>Outros</i>	1.005	5,0	1.093	71,5	1
19 – Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	866	4,3	2	0,1	433
15 – Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	435	2,2	43	1,1	10
7 – Extração de minerais metálicos	343	1,7	18	1,1	19
9 – Atividades de apoio à extração de minerais	264	1,3	1	0,0	264
17 – Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	249	1,2	20	0,9	12
11 – Fabricação de bebidas	117	0,6	49	1,6	2
13 – Fabricação de produtos têxteis	63	0,3	5	0,2	13
22 – Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	62	0,3	1	0,0	62
42 – Obras de infraestrutura	58	0,3	3	0,2	19
16 – Fabricação de produtos de madeira	56	0,3	3	0,1	19
43 – Serviços especializados para construção	56	0,3	2	0,2	28
20 – Fabricação de produtos químicos	17	0,1	1	0,0	17
26 – Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	17	0,1	1	0,0	17
Total	19.929	100,0	1.635	100,0	12

Nota: (a) Segmentos conforme Divisão CNAE 2.0. (b) Somatório das vazões outorgadas. (c) Quantidade de outorgas. (d) Vazão média por outorga, calculada pela divisão do somatório das vazões pela quantidade de outorgas.

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a).

O principal segmento em termos de demanda de água é o de Extração de minerais não metálicos, com 4,525 L/s outorgados, o que representa 21,3% de todo o estado. Na sequência, estão os setores de Fabricação de produtos alimentícios (3.550 L/s, 17,8%) e Fabricação de produtos minerais não metálicos (3074 L/s, 15,4%).

Sobre a Extração de minerais não metálicos, vale mencionar a peculiaridade da atividade. Conforme se vê no Mapa 6, as outorgas estão concentradas, principalmente, ao longo do rio Jacuí. Ainda que seja uma atividade industrial, é improvável que os usuários substituam a água do próprio rio, onde ocorre a extração, por água de reúso. Em razão da

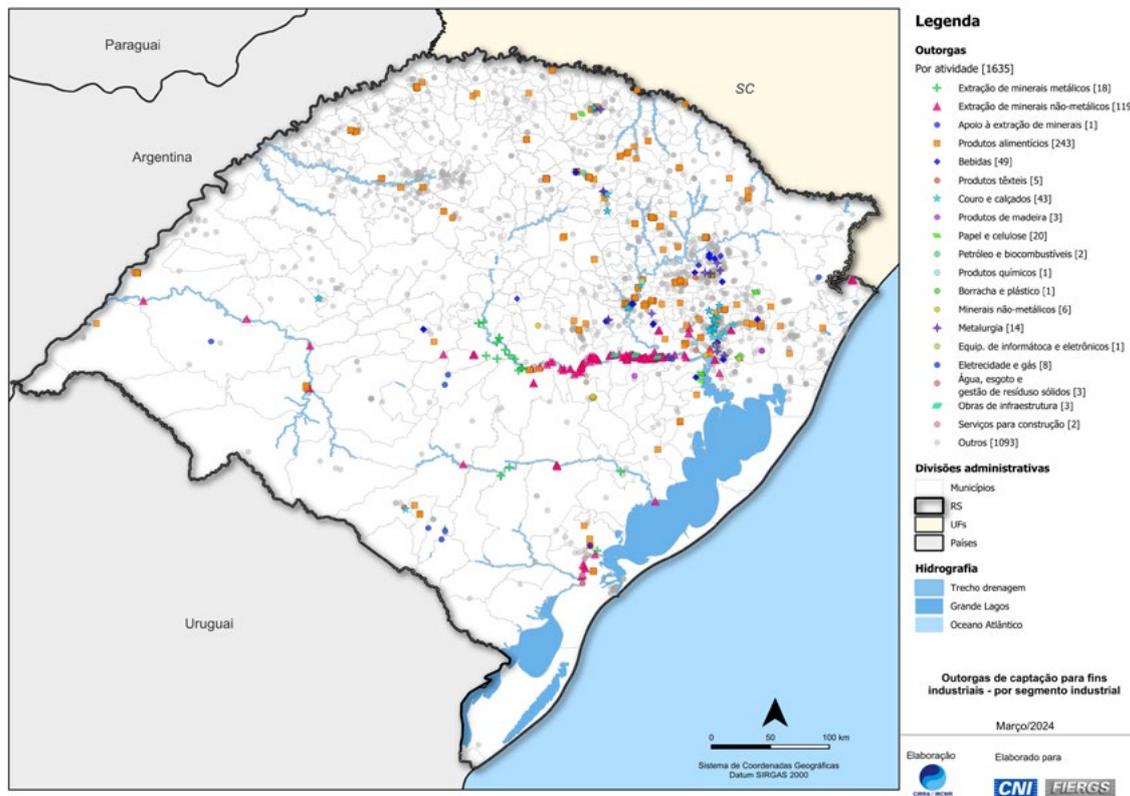
expressividade desse uso de água no estado, esse tema será mais bem abordado no Item **4.1 – Oportunidades de reúso por ETE-usuário.**

Analisando-se a $Q_{méd}$ por outorga (última coluna da Tabela 9), nota-se variação relevante a depender da atividade. Por exemplo, os segmentos alimentício e de extração de minerais não metálicos apresentam tendência de menores médias de vazões por outorga, na faixa de 15 L/s a 35 L/s, enquanto o de Fabricação de produtos de minerais não metálicos e Fabricação de coque, de Produtos derivados do petróleo e de Biocombustíveis possuem maiores médias de vazões outorgadas, na faixa de 400 L/s a 500 L/s.

Os registros brutos da SEMA apresentavam alguns valores elevados de vazões concedidas, com destaque a uma de 8.700 L/s em Rio Grande. Esses valores foram questionados junto à secretaria e definiu-se que, por diferentes razões, não seria adequado utilizá-los para estimativa das demandas industriais do estado. **No Anexo B**, encontram-se mais informações sobre o assunto.

O Mapa 6 mostra a distribuição das outorgas de acordo com o segmento industrial principal.

MAPA 6 – Outorgas de captação para fins industriais – por atividade industrial



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a).

As demandas estão concentradas em alguns poucos municípios, com destaque para Candelária (10,5%), Triunfo (9,4%), Charqueadas (6,6%) e Camaquã (3,6%). A Tabela 10 mostra os municípios com as maiores vazões outorgadas, bem como a sua distribuição por segmento industrial.

TABELA 10 – Outorgas de captação por município e atividade industrial

Município/atividade	Q _{out} (L/s)	%Q _{out}
Candelária	3.001	10,5
23 – Fabricação de produtos de minerais não metálicos	3.000	10,5
Outros	1	0,0
Triunfo	2.697	9,4
36 – Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1.750	6,1
8 – Extração de minerais não metálicos	934	3,3
Outros	10	0,0
10 – Fabricação de produtos alimentícios	2	0,0
Charqueadas	1.883	6,6
24 – Metalurgia	1.000	3,5
8 – Extração de minerais não metálicos	726	2,5
35 – Eletricidade, gás e outras utilidades	157	0,5
Camaquã	1.036	3,6
10 – Fabricação de produtos alimentícios	1.000	3,5
8 – Extração de minerais não metálicos	36	0,1
Outros	0	0,0
Candiota	998	3,5
35 – Eletricidade, gás e outras utilidades	971	3,4
Outros	27	0,1
Rio Grande	979	4,9
36 – Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	926	4,6
Outros	34	0,2
Esteio	853	3,0
19 – Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	850	3,0
Outros	3	0,0
General Câmara	668	2,3
8 – Extração de minerais não metálicos	651	2,3
42 – Obras de infraestrutura	17	0,1
Cachoeira do Sul	500	1,7
8 – Extração de minerais não metálicos	346	1,2
7 – Extração de minerais metálicos	81	0,3
10 – Fabricação de produtos alimentícios	49	0,2
Outros	23	0,1
24 – Metalurgia	0	0,0

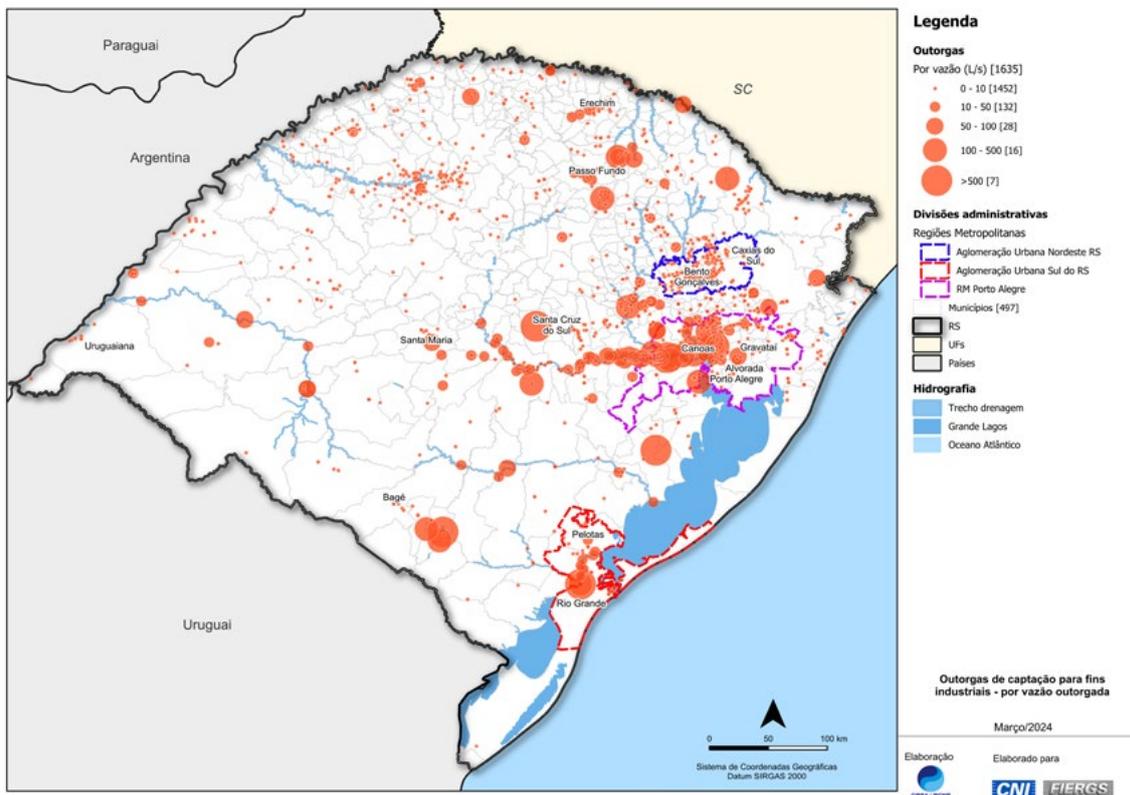
Município/atividade	Q _{out} (L/s)	%Q _{out}
Pedras Altas	447	1,6
35 – Eletricidade, gás e outras utilidades	447	1,6
Subtotal Top 10 municípios	13.063	65,5
Demais municípios	6.866	34,5
Total	19.929	100

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a).

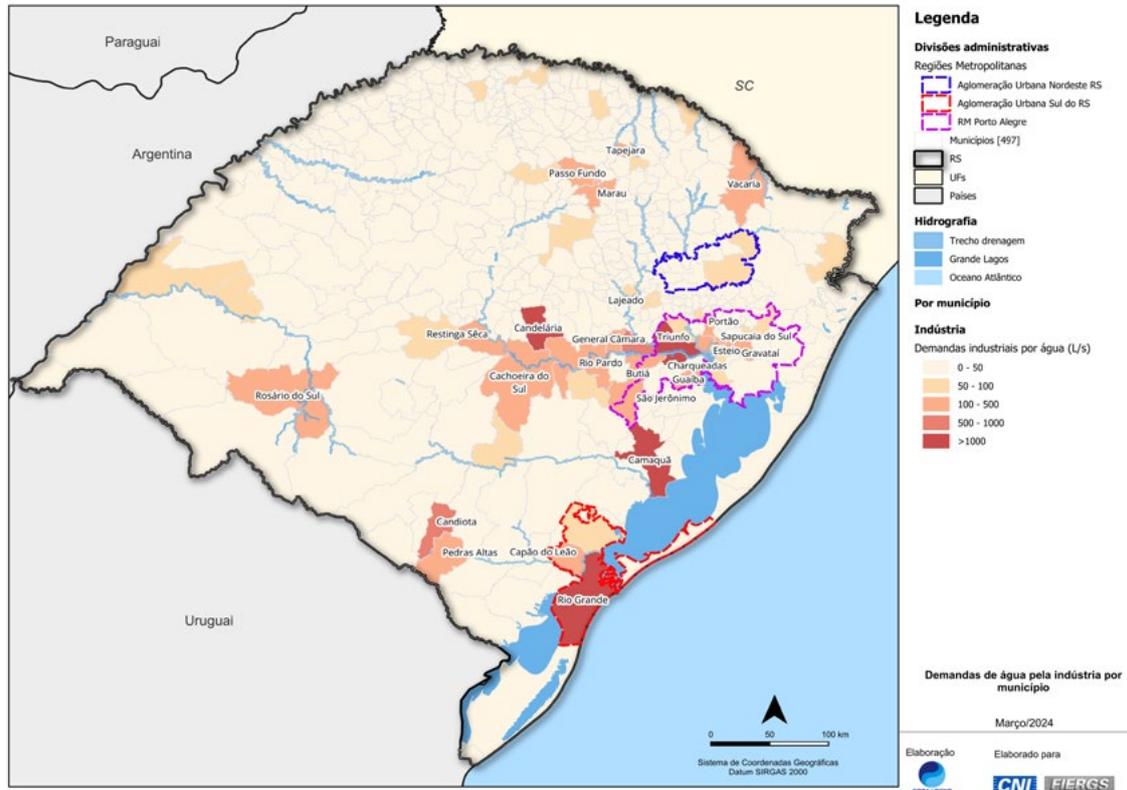
Os 10 principais municípios concentram 65,5% das demandas industriais, com 13.063 L/s outorgados. Nessas cidades, predominam as atividades de Extração de minerais não metálicos, Fabricação de produtos alimentícios e Fabricação de produtos de minerais não metálicos.

O Mapa 7 mostra a distribuição das outorgas por faixa de vazão outorgada, e o Mapa 8 mostra a soma das outorgas por município.

MAPA 7 – Outorgas de captação para fins industriais – por vazão



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a).

MAPA 8 – Outorgas de captação para fins industriais – vazões agrupadas por município

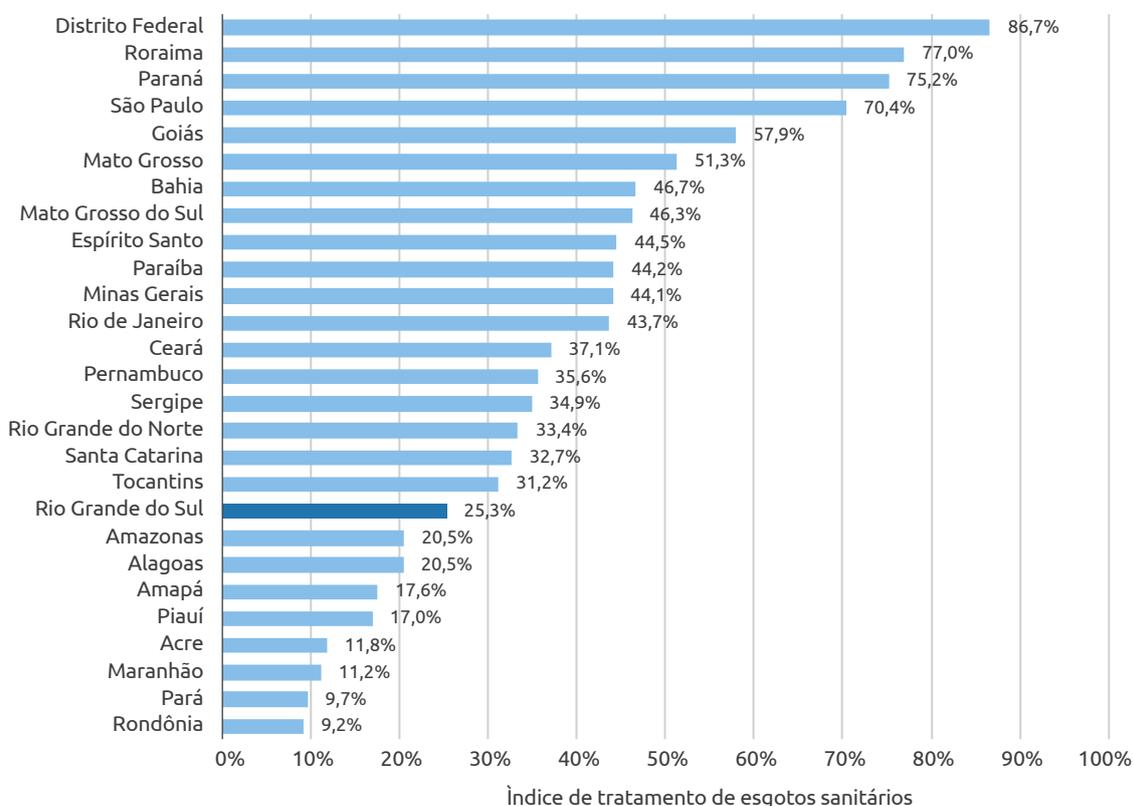
Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023) e ANA (2024a).

3.3 GERAÇÃO E TRATAMENTO DE ESGOTOS

3.3.1 ÍNDICES DE COLETA E TRATAMENTO

No Estado do Rio Grande do Sul, 55% dos serviços de esgotamento sanitário são prestados pela Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN), 43% pelas prefeituras dos municípios e os 2% restantes por outras empresas de saneamento (MDR, 2022). Apenas 25,3% dos esgotos gerados são tratados, condição que coloca o Rio Grande do Sul na 9ª posição entre os estados que menos tratam esgoto no País, como mostra a Figura 3.

FIGURA 3 – Índice de tratamento de esgotos sanitários referido à água consumida (IN046 do SNIS)



Fonte: adaptado de SNIS 2021 (MDR, 2022).

Mais de 90% dos municípios – que correspondem a 57,5% da população, ou 6,6 milhões de habitantes – possuem índices de tratamento abaixo de 20%. Apenas quatro possuem atendimento entre 60%-80%, havendo outros oito com atendimento acima de 80%. A Tabela 11 apresenta a distribuição de municípios e de população por faixa de porcentagem de atendimento de tratamento de esgotos.

TABELA 11 – Distribuição dos municípios por faixa de Índice de Tratamento de Esgotos Sanitários referido à água consumida (IN046 do SNIS)

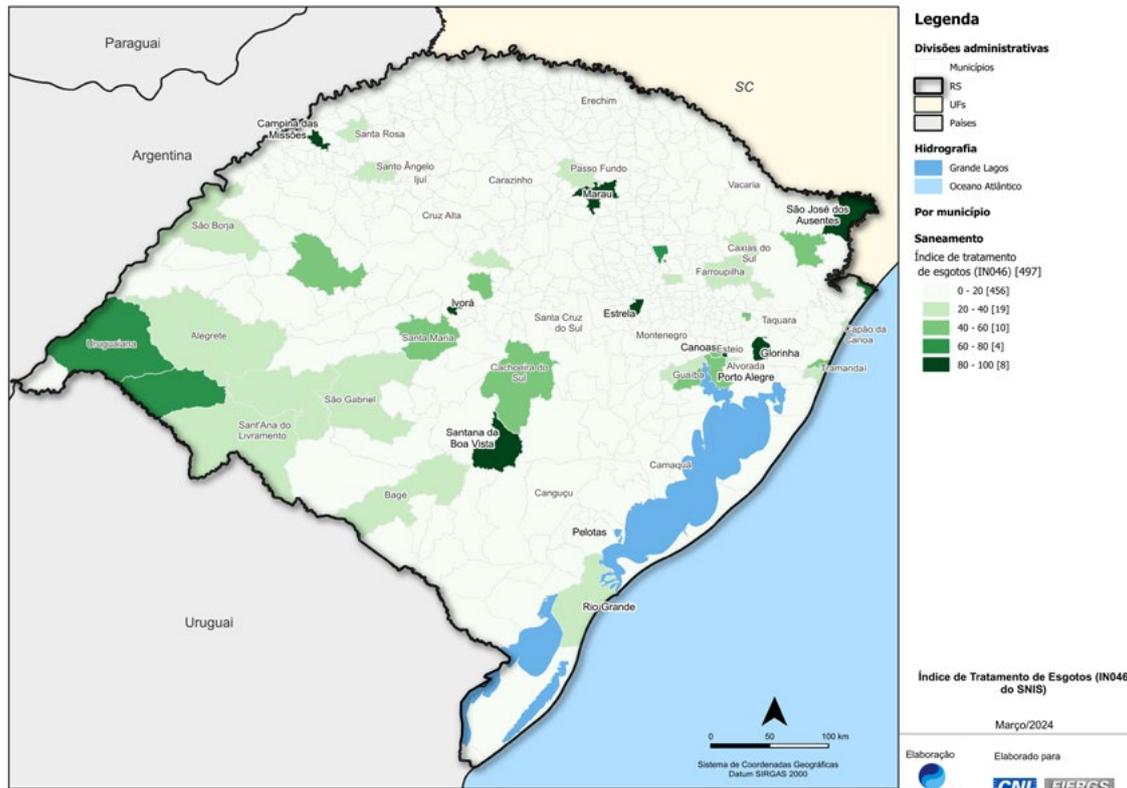
Faixa do índice de tratamento de esgotos	Índice de tratamento de esgotos	Qtde. municípios	%Qtde. municípios	População	%População
<20%	-	455	91,55%	6.594.591	57,51%
20-40%	-	20	4,02	1.999.950	17,44
40-60%	-	10	2,01	2.440.172	21,28
60-80%	-	4	0,81	192.502	1,68
	Cotiporã	69	-	3.824	0,03
	Quaraí	72	-	22.531	0,20
	Torres	66	-	39.381	0,34
	Uruguaiana	64	-	126.766	1,11

Faixa do índice de tratamento de esgotos	Índice de tratamento de esgotos	Qtde. municípios	%Qtde. municípios	População	%População
>80%	–	8	1,61	239.415	2,09
Cachoeirinha	100	–	–	132.144	1,15
Campina das Missões	100	–	–	5.325	0,05
Estrela	100	–	–	34.669	0,30
Glorinha	100	–	–	8.304	0,07
Ivorá	100	–	–	1.854	0,02
Marau	100	–	–	45.523	0,40
Santana da Boa Vista	94	–	–	8.037	0,07
São José dos Ausentes	100	–	–	3.559	0,03
Total	–	497	100,00	11.466.630	100,00

Fonte: adaptado de SNIS 2021 (MDR, 2022).

O Mapa 9 mostra o índice de tratamento de esgotos (IN046 do SNIS) por município, em que evidencia que grande parte do estado, ainda, possui baixa cobertura do serviço.

MAPA 9 – Índice de tratamento de esgotos sanitários referido à água consumida (IN046 do SNIS)



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SNIS 2021 (MDR, 2022).

Conforme apresentado na Tabela 12, os índices de abastecimento de água são relativamente elevados no RS quando comparados aos das demais Unidades da Federação (UFs), enquanto a coleta e o tratamento de esgotos estão aquém da média nacional.

TABELA 12 – Índices relativos ao abastecimento de água e à coleta e tratamento de esgoto

Código ^(a)	Índice	Valor (%)	
		Rio Grande do Sul	Média Brasil
IN055	Índice de atendimento total de água	86,9	84,1
IN023	Índice de atendimento urbano de água	97,9	93,4
IN015	Índice de coleta de esgoto	30,3	60,2
IN046	Índice de esgoto tratado referido à água consumida	25,3	51,2

Nota: (a) Código do indicador segundo o SNIS.

Fonte: adaptado de SNIS 2021 (MDR, 2022).

Essa condição evidencia a realidade de que, ainda que quase a totalidade dos domicílios estejam conectados à rede de abastecimento, apenas 30,3% dos esgotos são coletados e, destes, 25,3% são tratados em ETEs. Isso significa um déficit de saneamento muito elevado, isto é, necessidade inadiável da ampliação da capacidade de tratamento de efluentes no estado. Essa condição, embora não adequada, pode ser uma oportunidade de planejamento para ampliação do potencial de reúso de água no estado.

A Tabela 13 relaciona os 20 municípios com as maiores populações do estado e algumas informações e indicadores de saneamento do SNIS.

TABELA 13 – Informações e indicadores de saneamento por município em 2021 – 20 municípios com as maiores populações totais

Município	População total	AG010 – Volume de água consumido (L/s)	ES005 – Volume de esgotos coletado (L/s)	ES006 – Volume de esgotos tratado (L/s)	Déficit de tratamento (L/s) ^(a)	IN046_AE – Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%) ^(b)
Porto Alegre	1.492.530	3.643,2	2.321,1	1.916,6	1.726,7	52,7
Caxias do Sul	523.716	730,1	584,1	285,4	444,7	39,1
Canoas	349.728	556,7	185,8	238,5	318,2	43,0
Pelotas	343.826	575,9	290,2	87,1	488,8	15,1
Gravataí	285.564	322,2	109,7	40,3	281,9	12,5
Santa Maria	285.159	405,1	177,8	195,2	209,8	48,2
Viamão	257.330	276,7	15,6	3,4	273,3	1,2
Novo Hamburgo	247.303	336,8	25,3	25,3	311,5	7,5
São Leopoldo	240.378	355,1	43,4	43,4	311,6	12,2
Rio Grande	212.881	308,3	75,7	83,7	224,6	27,2
Alvorada	212.352	833,2	71,7	60,1	773,1	23,2
Passo Fundo	206.103	346,7	85,3	91,8	254,9	26,5

Município	População total	AG010 – Volume de água consumido (L/s)	ES005 – Volume de esgotos coletado (L/s)	ES006 – Volume de esgotos tratado (L/s)	Déficit de tratamento (L/s) ^(a)	IN046_AE – Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%) ^(b)
Sapucaia do Sul	142.508	193,0	8,5	6,9	186,2	3,6
Santa Cruz do Sul	132.271	204,1	33,5	25,6	178,5	12,5
Cachoeirinha	132.144	541,8	103,6	216,4	325,5	100,0
Uruguaiana	126.766	165,4	116,9	105,5	59,9	63,8
Bento Gonçalves	123.090	212,4	0,8	0,6	211,8	0,3
Bagé	121.518	155,5	128,9	32,9	122,6	21,2
Erechim	107.368	182,0	0,0	0,0	182,0	0,0
Guaíba	98.331	236,0	20,9	64,8	171,2	44,8

Obs.: Códigos das informações e indicadores conforme terminologia SNIS.

Nota: (a) Calculado pela subtração entre AG010 e ES006. (b) Como já comentado, o SNIS considera a água consumida (AG010) para cálculo do índice de tratamento de esgotos (IN046), assumindo-se que a geração de esgotos é igual ao consumo de água. O IN046 também computa outras variáveis, como vazões de esgotos brutos ou tratados importados/exportados a outras cidades.

Fonte: adaptado de SNIS 2021 (MDR, 2022).

Para a maior parte dos municípios, os índices de tratamento de esgotos são abaixo de 50% e comumente na faixa dos 20%-30%. Porto Alegre possui déficit de tratamento – ou seja, a vazão de esgoto produzido e não tratado – da ordem de 1.700 L/s, enquanto os demais estão na faixa de 100-700 L/s. Isso indica, além do evidente problema de cobertura de saneamento, também a necessidade de implantação de novas ETEs, as quais poderão, conforme será mais bem explorado neste relatório, considerar já no seu planejamento o atendimento a demandas não potáveis industriais. Além do índice de tratamento, também é importante considerar o nível de tratamento dado aos esgotos, ou seja, o tipo de tecnologia de tratamento adotado, cuja eficiência pode variar de forma significativa.

3.3.2 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Como abordado no **Item 2.5.2**, a caracterização das ETEs do estado requereu a utilização de diferentes bases de dados, bem como procedimentos específicos de tratamento e homogeneização dos dados.

Como resultado, chegou-se a 159 ETEs, as quais totalizam uma vazão de referência (Q_R) igual 9.818,2 L/s. A variável Q_R foi explicada no **Item 2.5.2.2**, e, em suma, é a vazão de projeto ou, na ausência dessa, a vazão afluente a cada uma das estações.

Avaliando-se as ETEs sob a óptica da tipologia de tratamento (*vide Item 2.5.2.3* para informações sobre o agrupamento de processos de qualidade), prevalecem os processos de Lodos ativados e similares (4.484,7 L/s; 45,7%), seguidos por Lagoas (2.491,4 L/s; 25,4%) e Físico-químico (1.104 L/s; 11,3%), conforme mostra a Tabela 14. Processos terciários, ainda, são emergentes no estado, com apenas 24,3 L/s tratados, especificamente nas ETEs Dutra (Gramado) e ETE Parque Residencial Novo Hamburgo (Novo Hamburgo).

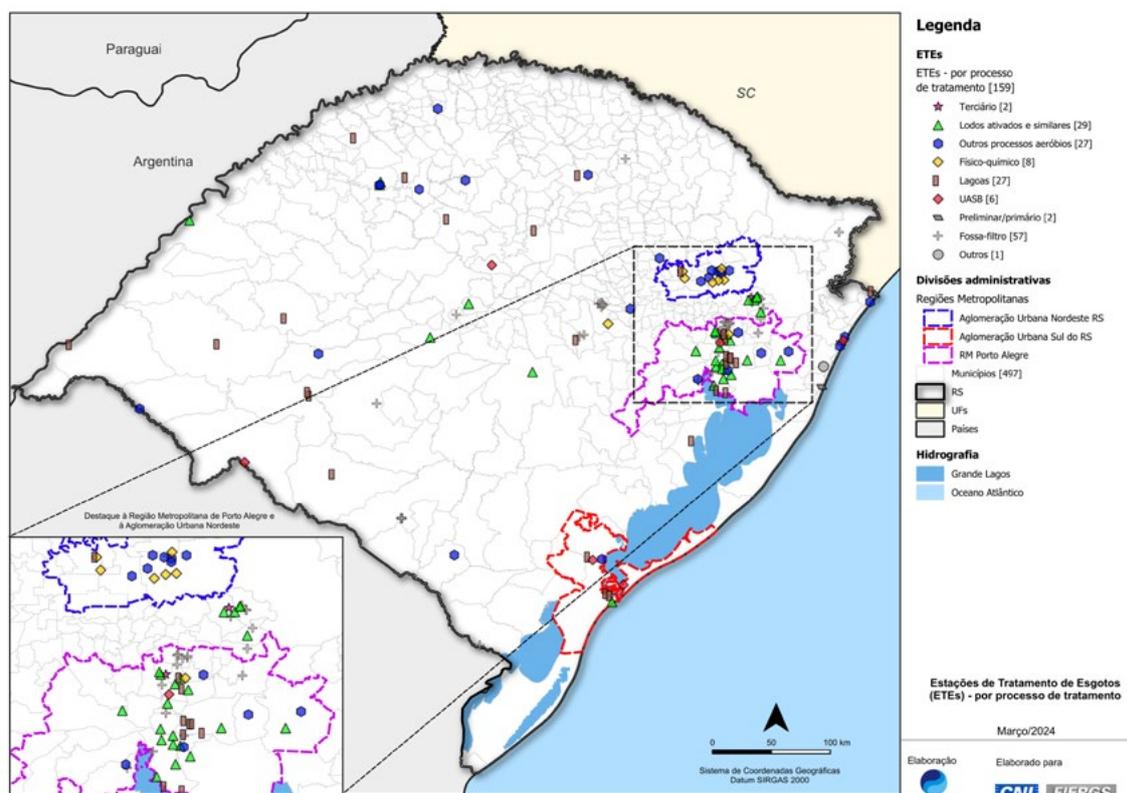
TABELA 14 – ETEs por processo de tratamento

Processo	Q _R (L/s)	%Q _R	Qtde.
Lodos ativados e similares	4.484,7	45,7	29
Lagoas	2.491,4	25,4	27
Físico-químico	1.104,6	11,3	8
Outros processos aeróbios	1.074,3	10,9	27
UASB	343,8	3,5	6
Fossa-filtro	238,4	2,4	57
Outros	36,4	0,4	1
Terciário	24,3	0,2	2
Preliminar/primário	20,4	0,2	2
Total	9.818,2	100,0	159

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

O Mapa 10 mostra as ETEs por processo de tratamento.

MAPA 10 – ETEs por processo de tratamento



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

Ao avaliar as 10 maiores ETEs do estado, vê-se que essas estações concentram 59% (5.807,5 L/s) de toda a capacidade de tratamento do estado. Essas estações estão nos municípios de Porto Alegre, Rio Grande, Alegrete, Caxias do Sul, Passo Fundo, Santa Maria, Capão da Canoa e Pelotas. Prevalcem os processos de Lodos ativados e similares, além de Lagoas, como demonstra a Tabela 14.

TABELA 15 – Dez maiores ETEs em termos de vazão de referência

ETE	Município	Processo	Q _R (L/s)	%Q _R
ETE Serraria	Porto Alegre	Lodos ativados e similares	2.710,0	29,0
ETE Navegantes	Rio Grande	Lagoas	471,0	5,0
ETE Alegrete	Alegrete	Lodos ativados e similares	444,0	4,7
ETE Rubem Berta	Porto Alegre	Físico-químico	440,0	4,7
ETE Tega	Caxias do Sul	Lagoas	300,0	3,2
ETE Araucária	Passo Fundo	Lodos ativados e similares	260,0	2,8
ETE Lorenzi	Santa Maria	Outros processos aeróbios	256,0	2,7
ETE Guarani	Capão da Canoa	Físico-químico	240,0	2,6
ETE Pinhal	Caxias do Sul	UASB	220,0	2,4
ETE Porto	Pelotas	Lagoas	216,0	2,3
Subtotal Top 10			5.807,5	59
Demais ETEs			4.010,8	41
Total			9.818,2	100

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

Os 10 municípios com as maiores capacidades de tratamento concentram 73% da capacidade de tratamento do estado, com destaque aos municípios de Porto Alegre (34,5%), Caxias do Sul (10,9%) e Rio Grande (5,4%). A Tabela 16 mostra o panorama por município e por processo de tratamento.

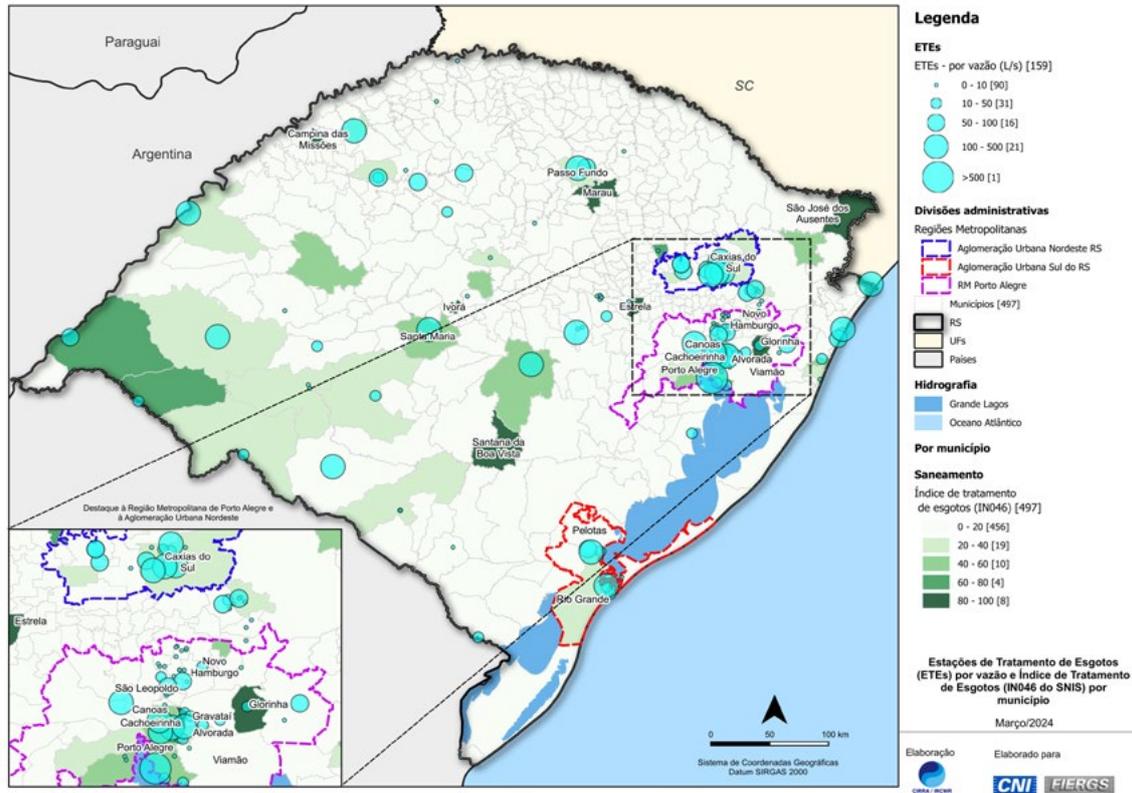
TABELA 16 – ETEs por município e processo de tratamento

Município/processo	Q _R (L/s)	%Q _R	Qtde. ETEs
Porto Alegre	3.387,8	34,5	8
Lodos ativados e similares	3.327,8	33,9	6
Lagoas	60,0	0,6	2
Caxias do Sul	1.067,7	10,9	11
Físico-químico	920,0	9,4	4
Outros processos aeróbios	144,6	1,5	6
Fossa-filtro	3,1	0,0	1
Rio Grande	531,3	5,4	6
Lagoas	456,1	4,6	2
Fossa-filtro	48,2	0,5	3
Lodos ativados e similares	27,0	0,3	1

Município/processo	Q _R (L/s)	%Q _R	Qtde. ETEs
Alegrete	466,5	4,8	1
Lagoas	466,5	4,8	1
Passo Fundo	354,4	3,6	2
Lagoas	300,0	3,1	1
Outros processos aeróbios	54,4	0,6	1
Pelotas	307,9	3,1	3
UASB	220,0	2,2	1
Lagoas	60,0	0,6	1
Outros processos aeróbios	27,9	0,3	1
Capão da Canoa	276,0	2,8	2
Outros processos aeróbios	256,0	2,6	1
UASB	20,0	0,2	1
Santa Maria	260,0	2,6	2
Lodos ativados e similares	260,0	2,6	2
Gravataí	247,8	2,5	6
Lagoas	225,0	2,3	4
Lodos ativados e similares	20,5	0,2	1
Fossa-filtro	2,3	0,0	1
Torres	222,1	2,3	2
Lagoas	216,0	2,2	1
Outros processos aeróbios	6,1	0,1	1
Subtotal Top 10	7.121,5	73	32
Demais municípios	2.696,7	27	127
Total	9.818,2	100	159

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

O Mapa 11 mostra a distribuição das ETEs no estado por faixa de vazão de referência, bem como os índices de tratamento de esgotos por município já apresentados no Mapa 9.

MAPA 11 – ETEs por faixa de vazão de projeto e índice de tratamento de esgotos por município

Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: MDR (2022), CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

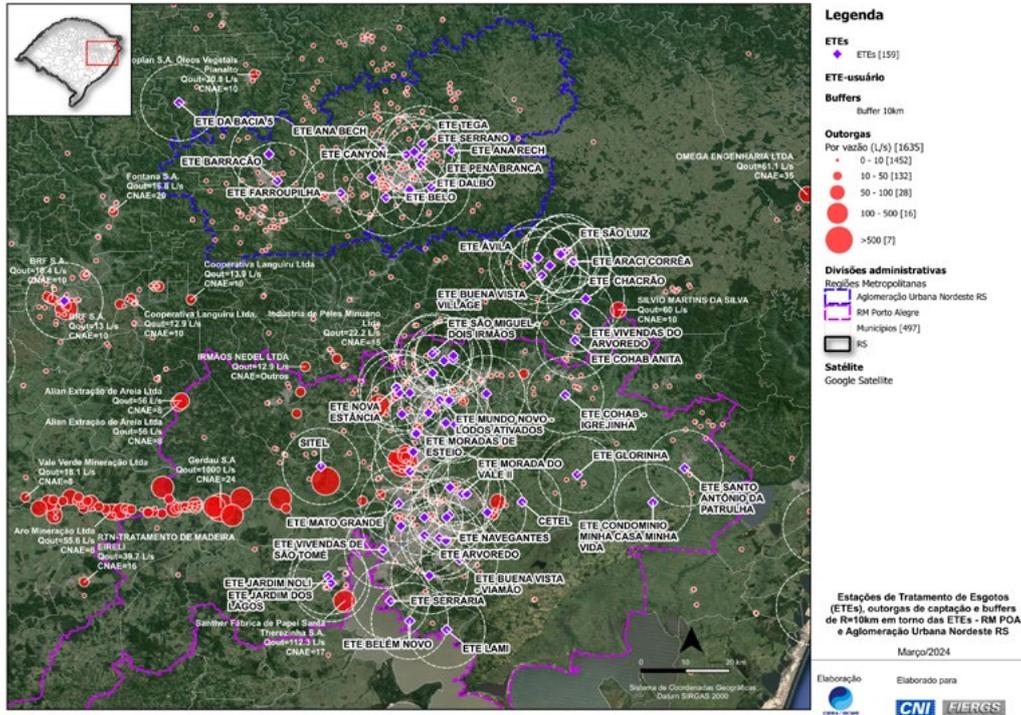
É comum que existam discrepâncias entre bases de dados de saneamento, como verificado para os municípios em que não há registros de ETEs, mas que apresentam elevados índices (autodeclarados) de tratamento de esgotos. Uma possibilidade seria que os efluentes gerados nesses municípios fossem tratados em cidades vizinhas, mas o SNIS também não indica valores de esgoto bruto exportado (Informação ES012), o que reforça a hipótese de inconsistência.

3.4 RELAÇÃO DE OFERTA E DEMANDA

Um dos procedimentos previstos na abordagem ETE-usuário, explicada no **Item 2.3**, é a sobreposição dos dados de ETEs e de outorgas e o cômputo das outorgas contidas num raio de 10 km a partir de cada uma dessas ETEs. Os mapas a seguir ilustram a sobreposição para diferentes regiões do estado, sendo:

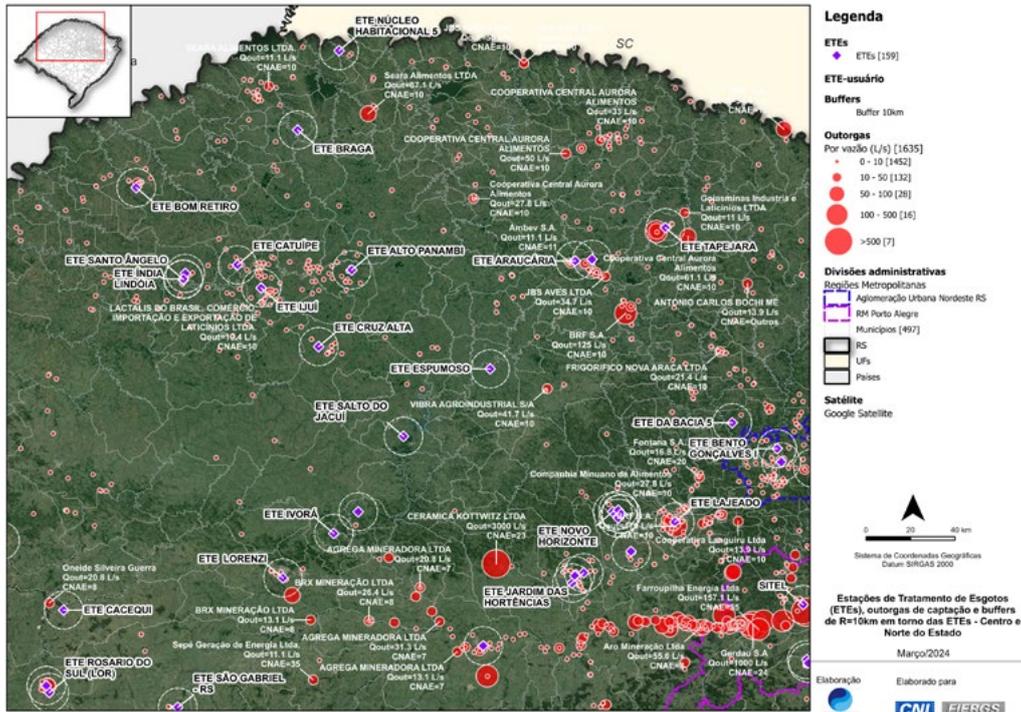
- **Mapa 12:** RM de Porto Alegre e Aglomeração Urbana Nordeste RS
- **Mapa 13:** Centro e norte do estado
- **Mapa 14:** Aglomeração Urbana Sul do estado
- **Mapa 15:** Oeste e sudoeste do estado

MAPA 12 – Sobreposição ETEs, outorgas e raio de 10km em torno das ETEs – RM de Porto Alegre e Aglomeração Urbana Nordeste RS



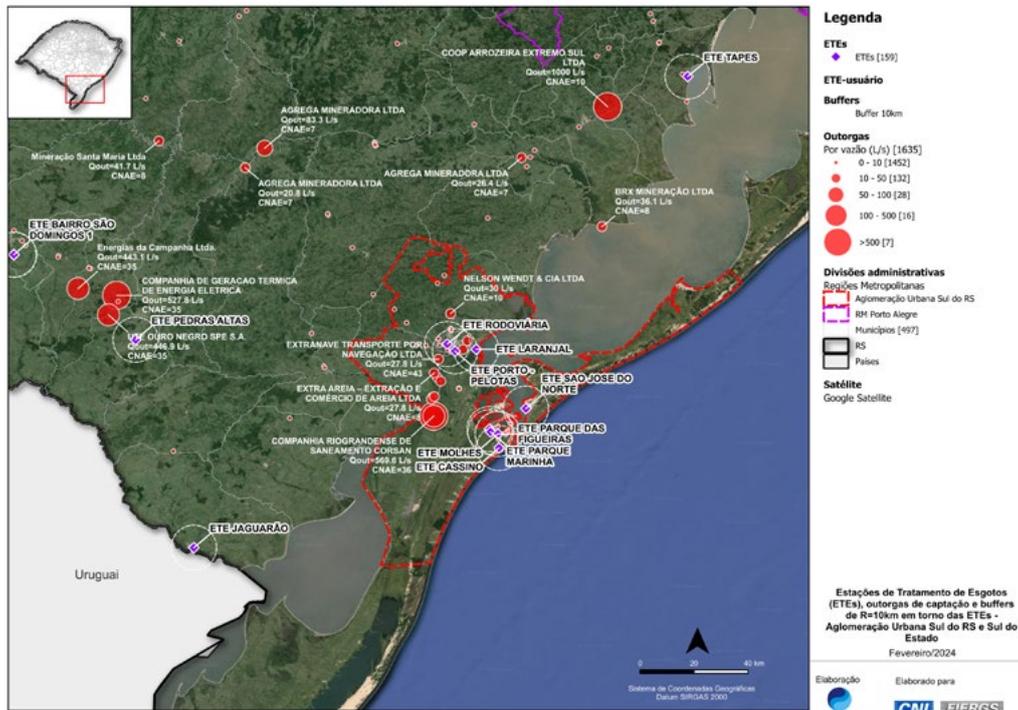
Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023), CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

MAPA 13 – Sobreposição ETEs, outorgas e raio de 10km em torno das ETEs – centro e norte do estado



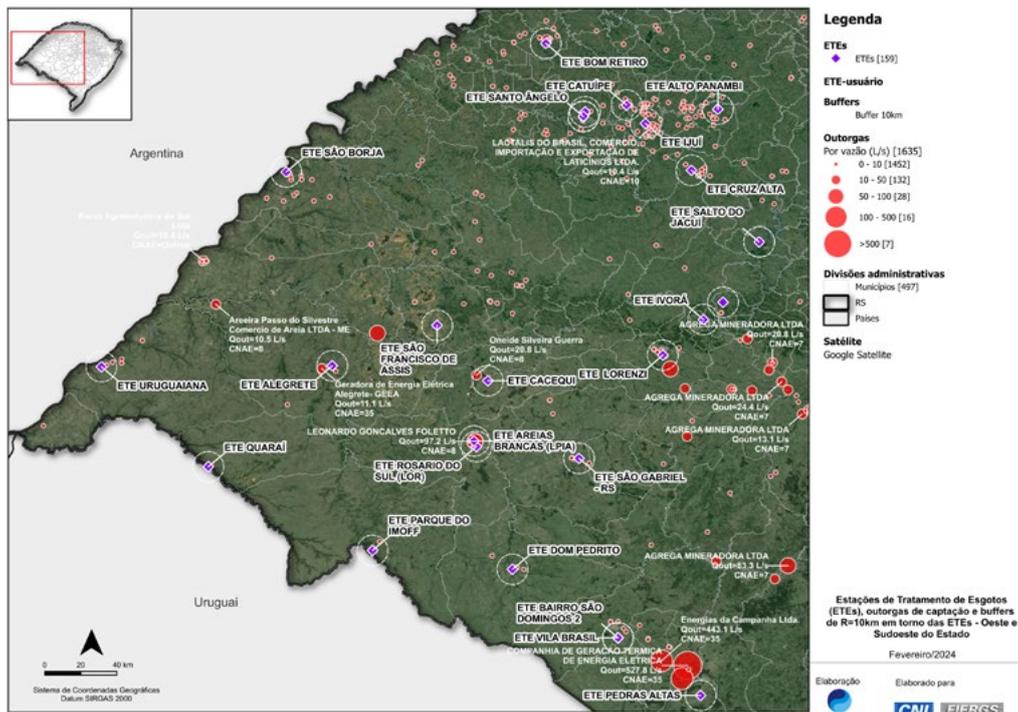
Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023), CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

MAPA 14 – Sobreposição ETEs, outorgas e raio de 10km em torno das ETEs – Aglomeração Urbana Sul do RS e sul do estado



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023), CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

MAPA 15 – Sobreposição ETEs, outorgas e raio de 10km em torno das ETEs – oeste e sudoeste do estado



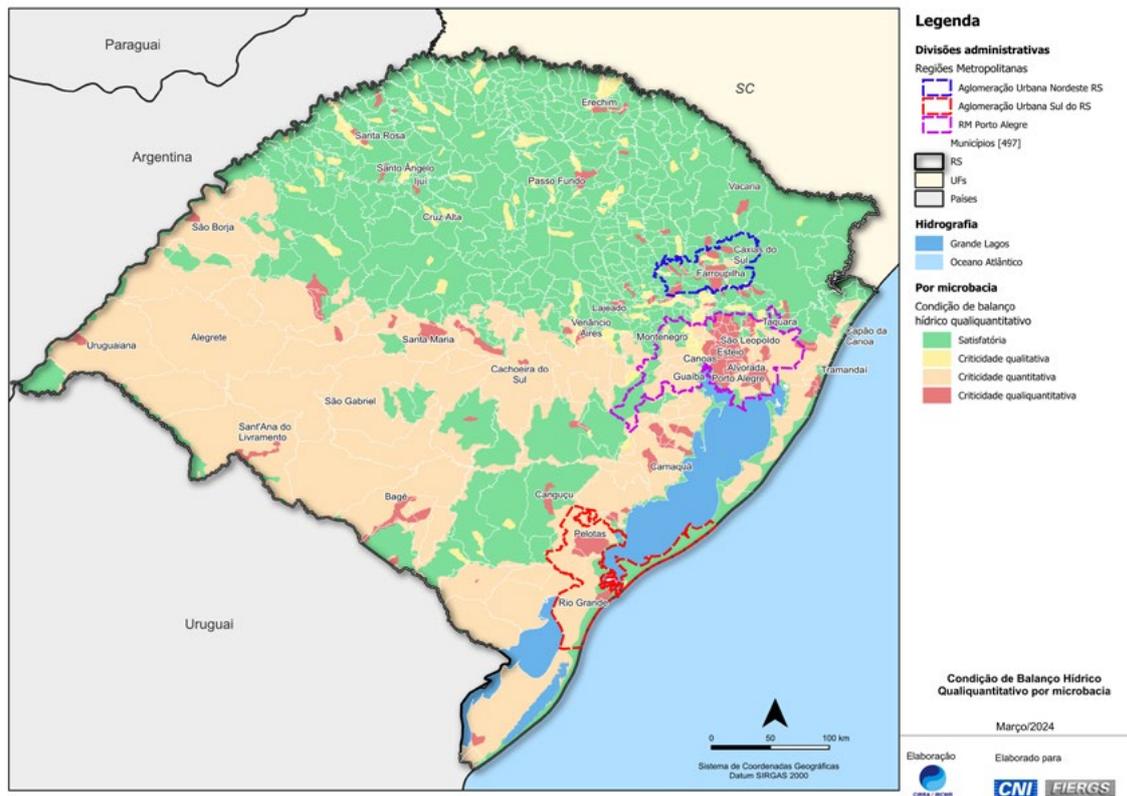
Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: SEMA (2023), CORSAN (2023), DMAE (2023), SAMAE (2023), ANA (2024b).

3.5 BALANÇO HÍDRICO

A condição de balanço hídrico quali-quantitativo é mais crítica nas áreas mais densamente povoadas, como na RM-POA e Aglomeração Urbana Nordeste, bem como em cidades, como Santa Maria, Passo Fundo, Lajeado, Erechim e Santa Rosa. O sul do estado apresenta cenário de criticidade quantitativa, inclusive, em áreas que não são densamente habitadas, em razão de baixa disponibilidade hídrica natural

O Mapa 15 mostra a condição de balanço hídrico quali-quantitativo por microbacia hidrográfica.

MAPA 16 – Condição de Balanço Hídrico Quali-quantitativo (BQQ)



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: ANA (2024c).

Praticamente, todo o território da RM-POA está submetido à condição de criticidade quanti ou quali-quantitativa, isto é, estresse hídrico muito elevado. O mesmo ocorre na Aglomeração Urbana Sul, principalmente nas áreas urbanas de Rio Grande e Pelotas. A Aglomeração Urbana Nordeste, entretanto, mostra condição menos crítica, ainda que haja criticidade quali-quantitativa expressiva em Caxias do Sul, Farroupilha e Bento Gonçalves.

3.6 PERFIL E DISTRIBUIÇÃO DA INDÚSTRIA

O Rio Grande do Sul apresentou, em 2021, PIB industrial de R\$ 121,1 bilhões, equivalente a 6,1% da indústria nacional. Os setores mais representativos da indústria de transformação, em termos de PIB, foram⁴:

- **17,4%:** Construção
- **16,8%:** Alimentos
- **12,4%:** Serviços industriais de utilidade pública
- **7,2%:** Químicos
- **6,4%:** Máquinas e equipamentos

Em termos de Valor Adicionado Bruto (VAB) industrial, destacam-se as cidades na RM-POA (Porto Alegre, Canoas, Triunfo e Gravataí), na Aglomeração Urbana Noroeste (Caxias do Sul) e na Aglomeração Urbana Sul (Rio Grande e Pelotas). Há também municípios relevantes no interior do estado, como Passo Fundo, Santa Maria, Venâncio Aires, Lajeado, Candiota e Panambi.

A Tabela 17 mostra os 20 municípios com maior VAB industrial em 2021, em ordem decrescente de, bem como a variação média anual do VAB industrial entre 2011 e 2021.

TABELA 17 – Valor Adicionado Bruto (VAB) industrial por município em 2021, em ordem decrescente de VAB

Município	VAB industrial (R\$MM/ano) – 2021	Variação % a.a. VAB industrial 2011-2021
Caxias do Sul	9.594,4	3
Canoas	8.390,7	39
Triunfo	7.196,8	17
Porto Alegre	6.584,1	0
Rio Grande	4.237,2	44
Gravataí	3.311,0	0
São Leopoldo	2.557,8	10
Bento Gonçalves	2.456,6	7
Montenegro	2.376,1	21
Candiota	2.351,0	121
Novo Hamburgo	2.275,0	3
Santa Cruz do Sul	2.072,0	7
Erechim	2.043,9	12
Guaíba	1.766,4	23
Carlos Barbosa	1.713,0	23

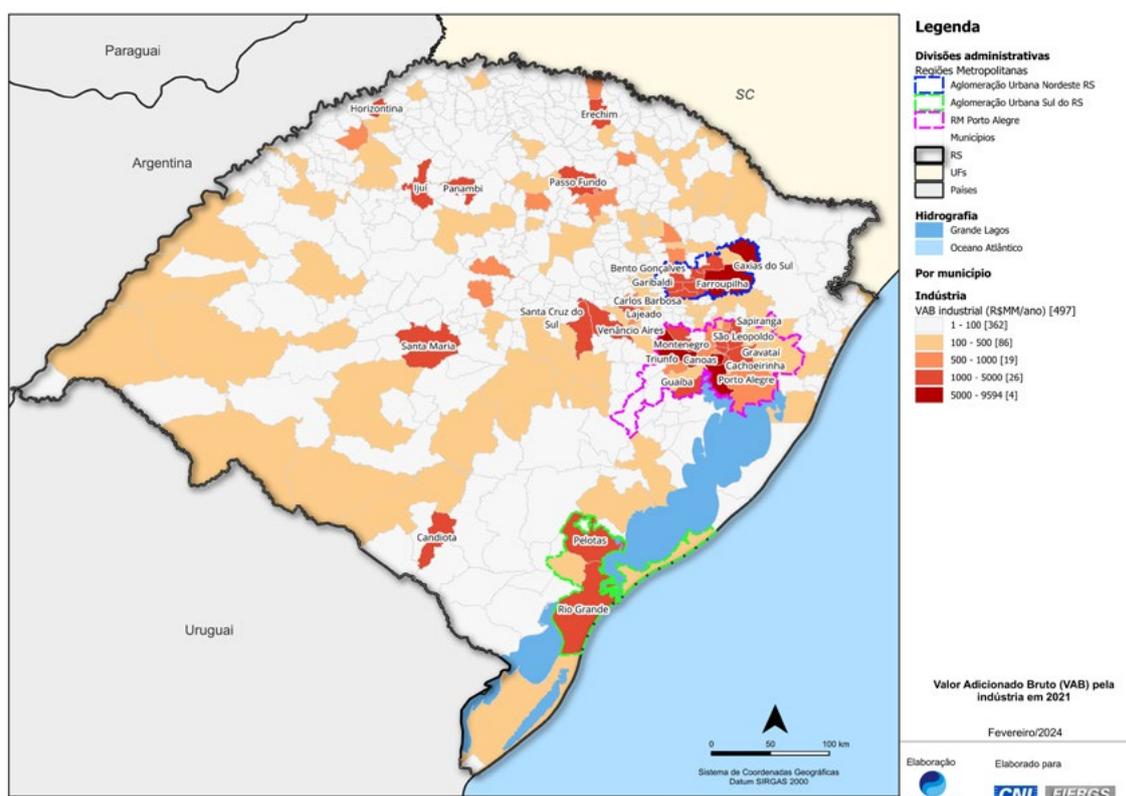
4 [Rio Grande do Sul - CNI - Perfil da Indústria nos Estados \(portal.daindustria.com.br\)](http://portal.daindustria.com.br)

Município	VAB industrial (R\$MM/ano) – 2021	Varição % a.a. VAB industrial 2011-2021
Sapiranga	1.531,9	11
Farroupilha	1.454,5	12
Cachoeirinha	1.448,3	4
Passo Fundo	1.434,0	14
Campo Bom	1.385,8	10

Fonte: elaboração própria. Fonte de dados: IBGE (2023b).

O Mapa 17 mostra os municípios de acordo com o VAB industrial em 2021, em que se observa o panorama apresentado.

MAPA 17 – VAB pela indústria em R\$ milhões/ano por município – 2021



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: IBGE (2023b).

Os municípios que tiveram o maior crescimento percentual ao ano não foram, em geral, aqueles com maiores VAB absolutos. Cidades de Camargo, Roque Gonzales e São Vicente do Sul apresentaram crescimento médio anual de VAB industrial acima de 300%. A tendência foi de crescimento mais expressivo para municípios com VAB industrial ainda baixo, geralmente na faixa de menos de 300 R\$MM/ano. A única exceção foi Candiota, que figurou entre os 20 com maiores VAB industrial em 2021 e, também, registrou crescimento médio de VAB industrial de 121% a.a.

A Tabela 18 mostra os 20 municípios com maior crescimento porcentual anual médio de VAB industrial, em ordem decrescente de crescimento.

TABELA 18 – Variação do VAB industrial por município entre 2020-2021, em ordem decrescente da variação

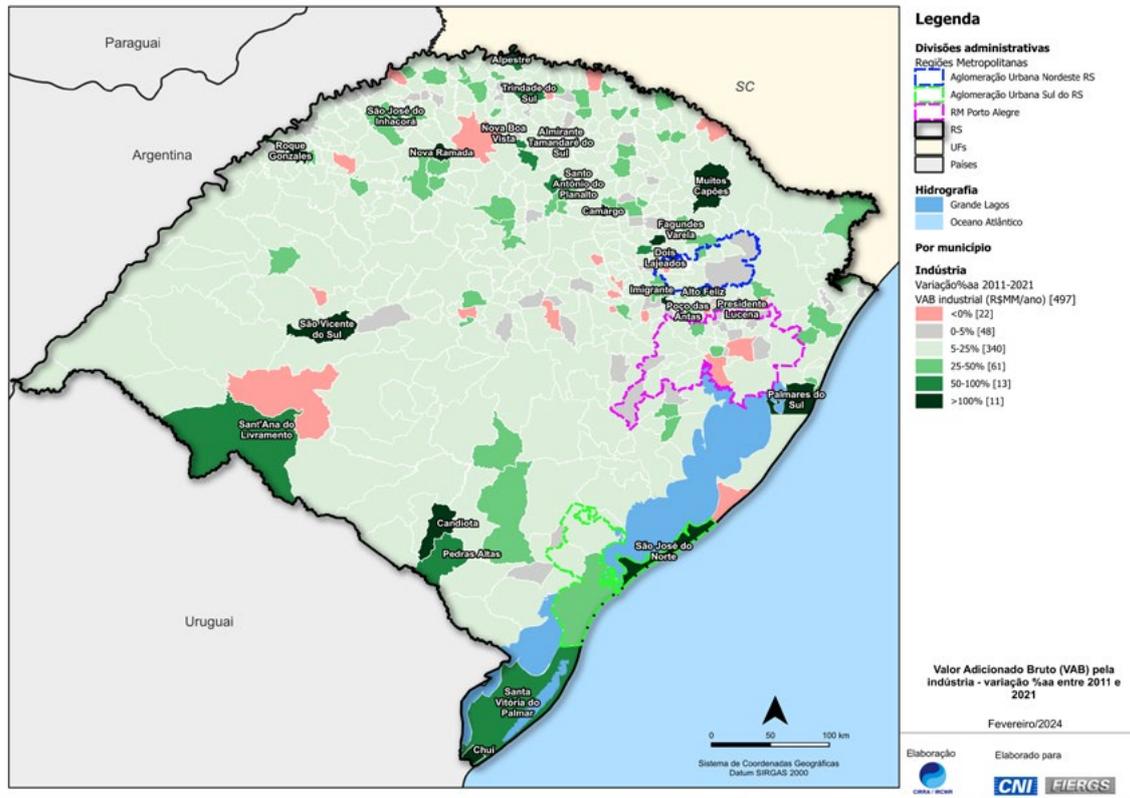
Município	Variação % a.a. VAB industrial 2011-2021	VAB industrial (R\$MM/ano) – 2011	VAB industrial (R\$MM/ano) – 2021
Camargo	651	3,6	239,3
Roque Gonzales	417	4,9	210,4
São Vicente do Sul	346	6,1	217,5
Poço das Antas	176	2,3	42,2
Nova Ramada	164	2,0	34,7
Muitos Capões	154	11,0	180,3
Palmares do Sul	138	18,0	266,8
Chuí	122	4,3	56,8
Candiota	121	179,5	2.351,0
São José do Norte	112	19,8	242,0
Fagundes Varela	110	5,7	68,8
São José do Inhacorá	96	5,7	60,2
Santo Antônio do Planalto	84	2,3	21,8
Sant'Ana do Livramento	77	52,2	455,5
Almirante Tamandaré do Sul	76	3,3	28,2
Trindade do Sul	74	10,3	86,9
Pedras Altas	64	1,3	9,4
Santa Vitória do Palmar	63	36,1	264,7
Presidente Lucena	63	14,5	106,4
Dois Lajeados	58	4,9	33,2

Fonte: elaboração própria. Fonte de dados: IBGE (2023b).

Nos municípios da RM-POA e Aglomeração Urbana Noroeste, a tendência foi de redução, estagnação ou crescimento modesto do VAB industrial, enquanto os municípios no norte e sul do estado apresentaram crescimento muito expressivo, como mostra o Mapa 18.

É importante destacar que a capacidade de desenvolvimento de uma região, ou seja, o potencial para o aumento do VAB depende, em grande parte, da disponibilidade de água, de maneira que o reúso de água pode contribuir de maneira significativa para isso.

MAPA 18 – VAB pela indústria em R\$ milhões/ano por município – variação porcentual anual (%a.a.) entre 2011 e 2021



Fonte: elaborado pelos autores. Fonte de dados: IBGE (2023b).

3.7 LEGISLAÇÃO SOBRE REÚSO

A [Resolução Consema nº 419/2020](#) disciplina a prática de reúso no estado. Essa resolução estabelece as modalidades de uso, disposições gerais, padrões de qualidade e frequências de monitoramento. No entanto, especificamente para reúso industrial, a resolução define, em sua Seção IV, art.17, que “A qualidade e quantidade da água de reúso para fins industriais deverão obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina.”

Essa abordagem é comum no disciplinamento de reúso industrial, dado que há muitas especificidades nas distintas aplicações de água na indústria, seja no processo principal, seja em processos auxiliares de resfriamento (direto ou indireto), geração de vapor, preparo de soluções e lavagens, entre outras.

A Tabela 19 resume os principais critérios para o reúso de água estabelecidos na Resolução Consema nº 419/2020.

TABELA 19 – Principais pontos da Resolução Consema nº 419/2020

Item	Conteúdo
Modalidades de reúso contempladas	Reúso não potável. Usos urbanos, industriais, agrícolas e florestais
Padrões de qualidade	<p>Usos urbanos: define duas classes, A (acesso irrestrito, qualidade mais exigente) e B (acesso restrito, qualidade menos exigente), a exemplo da Resolução Conjunta SES/Sima nº 01/2020 do Estado de São Paulo. Padrão inclui coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, cloro residual total e condutividade elétrica. Não apresenta limites para sólidos, turbidez, matéria orgânica, nutrientes e demais variáveis de qualidade.</p> <p>Usos industriais: não define, dado que “A qualidade e quantidade da água de reúso para fins industriais deverão obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina.”</p> <p>Usos agrícolas e florestais: inclui metais, indicadores microbiológicos, óleo e gás (O&G), hidrocarbonetos e características físico-químicas (pH).</p>
Frequências de monitoramento	<p>Depende da vazão:</p> <p>Q < 150 m³/d – semestral</p> <p>150 < Q < 300 m³/d – trimestral</p> <p>Q > 300 m³/d – bimestral</p>

Fonte: elaborado pelos autores. Adaptado da [Resolução Consema nº 419/2020](#).

Além da resolução citada acima, cabe observância a outras referências estaduais, relacionadas na Tabela 20.

TABELA 20 – Compilação de referências legais estaduais de interesse

Referência	Assunto
Constituição Estadual do Rio Grande do Sul	Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos com o objetivo de promover a melhoria da qualidade dos recursos hídricos e regular o abastecimento de água para atender aos consumos humano, industrial e agrícola. O §2º do art. 247 define como dever do Estado e dos Municípios a extensão progressiva do saneamento básico, no qual estão compreendidos a coleta, o tratamento e a disposição final de esgotos sanitários, como condição fundamental para proporcionar: qualidade de vida à população, proteção ao meio ambiente e desenvolvimento social. O §2º do art. 248 estabelece que os efluentes gerados nos distritos industriais devem ser tratados e reciclados , de forma integrada pelas empresas, através de condomínios de tratamento de resíduos.
Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994	Regulamenta o art. 171 da Constituição do Estado, instituindo o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. O art. 2º da Lei estabelece a finalidade da Política Estadual de Recursos Hídricos, a qual, dentre outros objetivos, deve promover a gestão adequada desses recursos, assegurando a prioridade ao abastecimento para consumo humano, além de impedir a degradação, melhorar a qualidade e aumentar a capacidade de suprimento dos corpos de hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos, garantindo com isso o desenvolvimento socioeconômico para as gerações atuais e futuras. O Capítulo IV da citada lei apresenta as diretrizes gerais para a implementação de dois instrumentos para o estabelecimento da gestão dos recursos hídricos no estado: a outorga de uso dos recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água.
Lei nº 15.795, de 24 de janeiro de 2022	Cria duas Unidades Regionais de Saneamento Básico (URBS1 e URBS2), as quais visam a garantir, mediante a prestação regionalizada, a universalização dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. O art. 2º apresenta como uma das finalidades da referida lei o incentivo ao uso racional e ao reúso de água .

Fonte: elaborado pelos autores.



4 RESULTADOS

Os resultados deste estudo foram organizados conforme os métodos de avaliação de oportunidades de reúso apresentados no **Item 2**. Esses métodos utilizados possuem o mesmo objetivo final (identificar oportunidades de reúso), mas abordam o tema de formas diferentes e complementares. Por isso, não haverá, necessariamente, convergência total entre os resultados e análises obtidas por cada método, dado que a própria natureza é diferente.

O método **ETE-usuário** realiza análises individualizadas a partir da avaliação de cada ETE e dos usuários industriais de água nas proximidades, buscando compreender o potencial de reúso de cada uma das estações individualmente. O método do **IAR**, por sua vez, realiza análises de área por sobreposição de dados municipais e por microbacia hidrográfica para geração de mapa para todo o território do Rio Grande do Sul, indicando quais são as áreas que, segundo o modelo aplicado, possuem maior aptidão de reúso.

Neste capítulo, os resultados são apresentados da seguinte maneira:

- **Item 4.1** – Oportunidades de reúso por ETE-usuário.
- **Item 4.2** – Oportunidades de reúso pelo Índice de Aptidão de Reúso (IAR)

4.1 OPORTUNIDADES DE REÚSO POR ETE-USUÁRIO

Cada uma das 159 ETEs foi avaliada levando em conta as 1.635 outorgas industriais do estado, o que foi realizado utilizando-se o raio de 10km em torno de cada estação. As outorgas contidas nesse raio foram computadas, resultando no somatório das vazões outorgadas (ΣQ_{out}) e na quantidade das outorgas para cada uma das ETEs. Assim, naturalmente, aquelas localizadas mais próximas a usuários industriais de água terão maior ΣQ_{out} , indicando maior potencial para a prática de reúso.

Para melhor compreensão dos resultados, foram criados quatro grupos para classificação das ETEs de acordo com a sua oferta disponível (isto é, o esgoto tratado) e sua demanda (demandas industriais próximas), conforme é demonstrado pela Tabela 21.

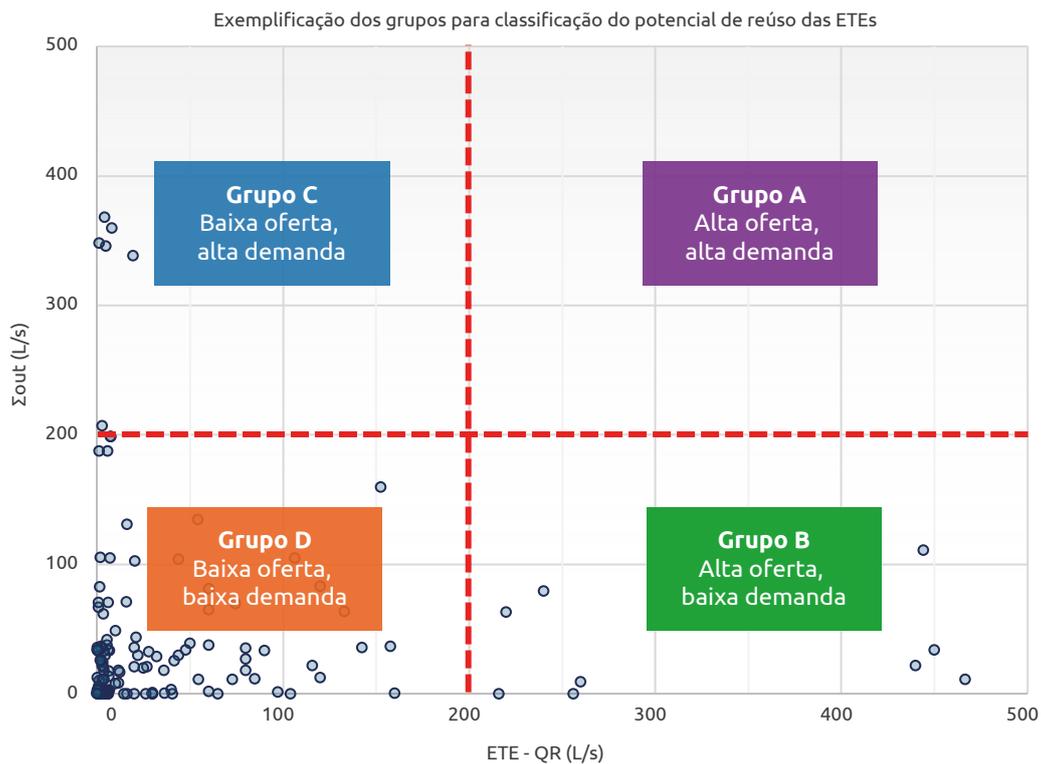
TABELA 21 – Classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso

Grupo	Descrição	Critério	Característica
A	Alta oferta, alta demanda ETEs com alta vazão QR e altas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_R \geq 200 \text{ L/s}$ $\Sigma Q_{out} \geq 200 \text{ L/s}$	ETEs com maior potencial presente, dado que há disponibilidade de efluentes tratados e demandas próximas.
B	Alta oferta, baixa demanda ETEs com alta vazão QR e baixas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_R \geq 200 \text{ L/s}$ $\Sigma Q_{out} < 200 \text{ L/s}$	ETEs cujo potencial reside na disponibilidade de oferta, ainda que atualmente não haja demandas representativas. Para as ETEs deste grupo, convém planejamento para implantação de indústrias nas proximidades.
C	Baixa oferta, alta demanda ETEs com baixa vazão QR e com altas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_R < 200 \text{ L/s}$ $\Sigma Q_{out} \geq 200 \text{ L/s}$	ETEs de baixa capacidade localizadas em áreas com demandas industriais elevadas. Seu potencial reside na possibilidade de expansão/ <i>revamp</i> das estações, principalmente em áreas onde o déficit de saneamento é expressivo.
D	Baixa oferta, baixa demanda ETEs com baixa vazão QR e com baixas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_R < 200 \text{ L/s}$ $\Sigma Q_{out} < 200 \text{ L/s}$	ETEs com baixo potencial de reúso, dado que coincidem as baixas vazões de efluentes e a ausência de demandas industriais representativas.

Q_R : vazão de referência da ETE (vide Item 2.5.2.2). ΣQ_{out} : somatório das vazões outorgadas para a indústria contidas no raio de 10 km em torno da ETE.
Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 4 exemplifica a classificação das ETEs em função dos grupos definidos.

FIGURA 4 – Exemplificação dos grupos de classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso



Fonte: elaborado pelos autores.

Das 159 ETEs analisados: 1 está no Grupo A; 11 no Grupo B; 9 no Grupo C; e as 138 restantes no Grupo D (*vide* Tabela 22).

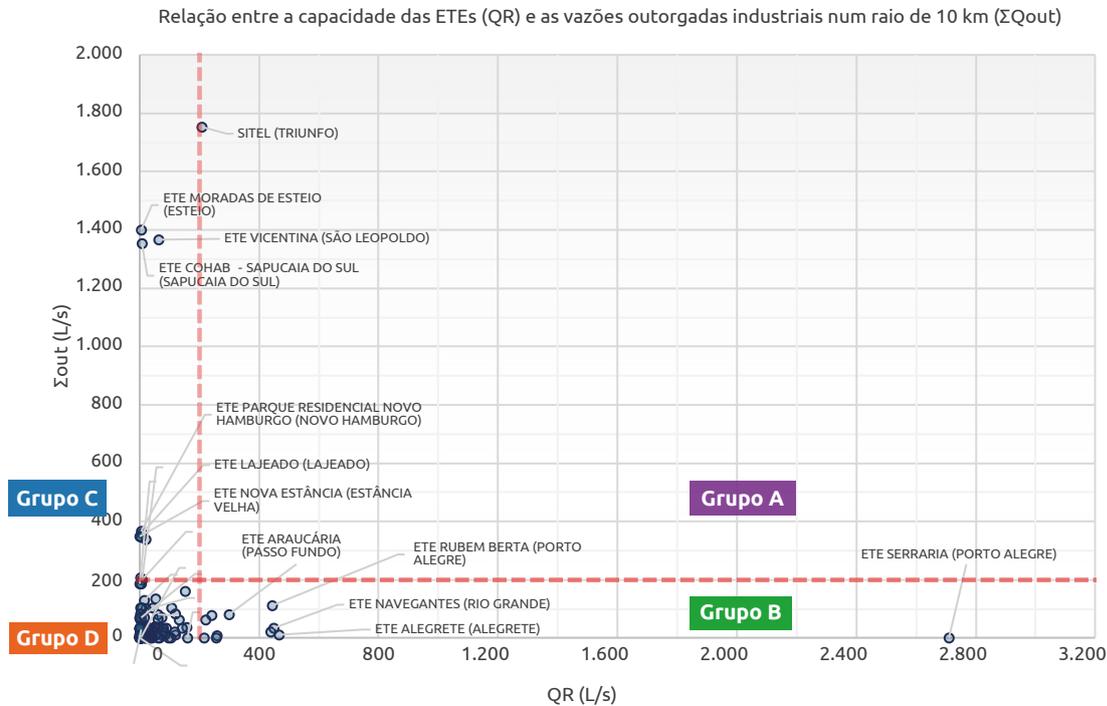
TABELA 22 – ETEs classificadas conforme grupo de potencial de reúso

Grupo / ETEs (município)	Q _R (L/s)	Σq _{out} (L/s)
A – Alta oferta, alta demanda (1 ETE)	208,0	–
SITEL (Triunfo)	208,0	1.754,3
B – Alta oferta, baixa demanda (11 ETEs)	6.002,5	–
ETE Serraria (Porto Alegre)	2.710,0	0,9
ETE Alegrete (Alegrete)	466,5	11,2
ETE Navegantes (Rio Grande)	450,0	34,3
ETE Rubem Berta (Porto Alegre)	444,0	111,1
ETE Tega (Caxias do Sul)	440,0	21,8
ETE Araucária (Passo Fundo)	300,0	80,6
ETE Lorenzi (Santa Maria)	260,0	9,2
ETE Guarani (Capão da Canoa)	256,0	0,3
ETE Pinhal (Caxias do Sul)	240,0	79,6
ETE Porto – Pelotas (Pelotas)	220,0	63,4
ETE Mambituba (Torres)	216,0	0,3
C – Baixa oferta, alta demanda (9 ETEs)	171,4	–
ETE Vicentina (São Leopoldo)	64,2	1.366,3
ETE Tancredo Neves (São Leopoldo)	19,4	338,4
ETE Lajeado (Lajeado)	8,0	359,8
ETE Cohab (Sapucaia do Sul)	7,6	1.353,8
ETE Moradas de Esteio (Esteio)	4,8	1.399,8
ETE Estância Velha (Estância Velha)	4,7	346,0
ETE Parque Residencial Novo Hamburgo (Novo Hamburgo)	4,3	368,0
ETE Tapejara (Tapejara)	2,9	207,2
ETE Nova Estância (Estância Velha)	1,2	348,1
D – Baixa oferta, baixa demanda (138 ETEs)	3.491,3	–
Total (159 ETEs)	9.818,9	–

Q_R: vazão de referência da ETE (*vide* Item 2.5.2.2). ΣQ_{out}: somatório das vazões outorgadas para a indústria contidas no raio de 10 km em torno da ETE.
Fonte: elaborado pelos autores.

O gráfico da Figura 5 mostra cada uma das 159 ETEs de acordo com sua vazão de referência (Q_R) e o somatório das outorgas industriais próximas (ΣQ_{out}), bem como sua posição em relação aos grupos A, B, C e D.

FIGURA 5 – ETEs de acordo com potencial de reúso e grupo



Fonte: elaborado pelos autores.

Os grupos A, B e C somam 21 ETEs, as quais são prioritárias em relação à prática de reúso. Cada um dos grupos possui potencial de reúso diferente. Na sequência são avaliados em mais detalhes regiões e municípios para os quais se verificaram as melhores oportunidades de reúso, somente para as ETEs dos Grupos A, B e C. Alguns municípios agrupados no mesmo tópico não possuem nenhuma relação entre si (como Alegrete e Santa Maria), e foram unidos somente por otimização na elaboração dos mapas.

4.1.1 REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE (RM-POA)

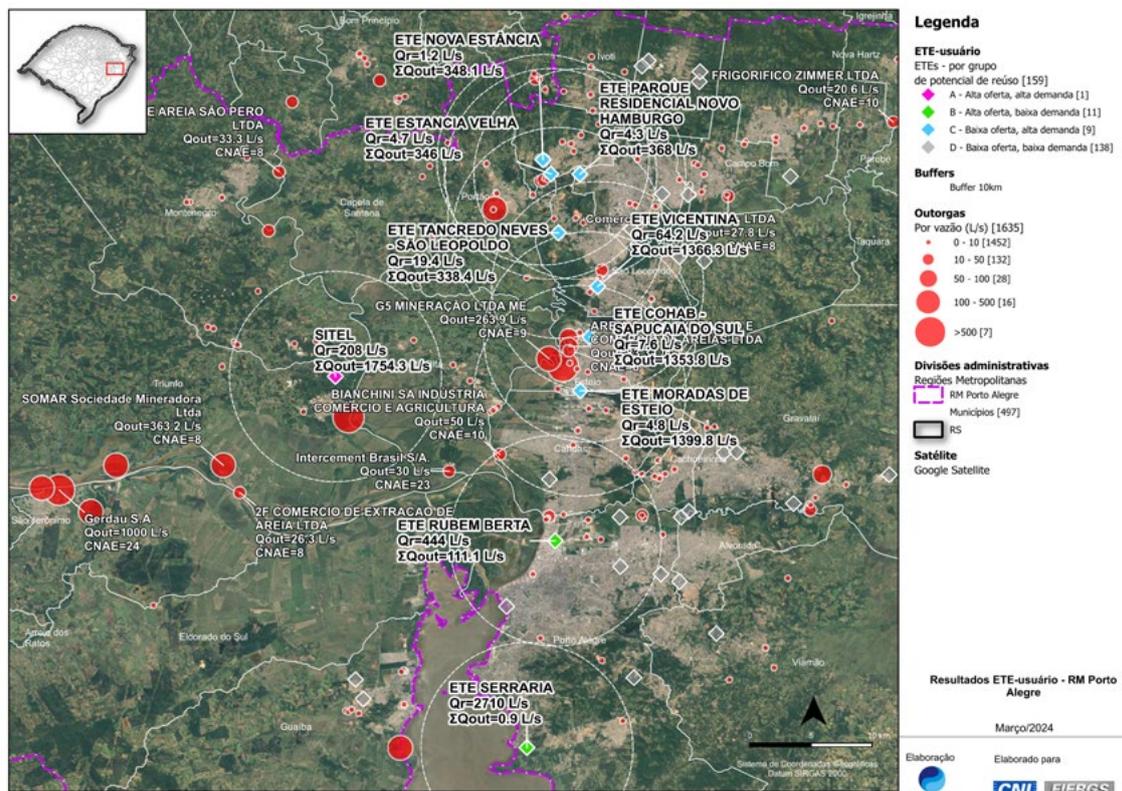
Principais características.

- A RM-POA contempla 31 municípios, sendo que os mais expressivos em termos de demanda de água são Triunfo, Charqueadas e Esteio; já com relação ao VAB industrial, destacam-se Porto Alegre, Canoas e Triunfo (vide **Item 3.5**).
- Região com elevado número de ETEs (46), e alta concentração de outorgas industriais (aprox. 300 outorgas, com vazão outorgada de aprox. 7.200 L/s).
- Há presença marcante de indústrias alimentícias, de bebidas, extração de minérios não metálicos (basicamente areia) e processamento de couro e calçados.
- Com algumas exceções (como POA, Cachoeirinha e Eldorado do Sul), quase todos os municípios da RM-POA possuem índice de tratamento de esgotos abaixo de 20% (vide **Item 3.3.1**)

- Há presença de ETEs dos grupos A, B e C, conforme apresentado abaixo. As ETEs do grupo D não serão abordadas com mais detalhes.
 - **Grupo A (alta oferta, alta demanda):** a ETE com maior potencial de reúso é o SITEL em Triunfo, localizada dentro do polo petroquímico de Triunfo. A ETE possui processo de lodos ativados, $Q_R = 208$ L/s e demandas industriais próximas de 1.754 L/s.
 - **Grupo B (alta oferta, baixa demanda):** as maiores ETEs da região não estão próximas a demandas industriais relevantes, como é o caso das ETEs Serraria, Rubem Berta, Sarandi, Free Way e Mato Grande.
 - **Grupo C (baixa oferta, alta demanda):** as ETEs localizadas principalmente em Esteio e Nova Hamburgo. Nessas cidades, onde há expressivas demandas industriais, prevalecem ETEs de baixa capacidade, e muitas delas com sistemas de eficiência limitada (UASB, lagoas e fossas-filtro).

O Mapa 19 mostra o panorama da RM-POA com todas as ETEs, outorgas industriais e raios de 10km.

MAPA 19 – Oportunidades ETE-usuário – RM Porto Alegre



Fonte: elaborado pelos autores.

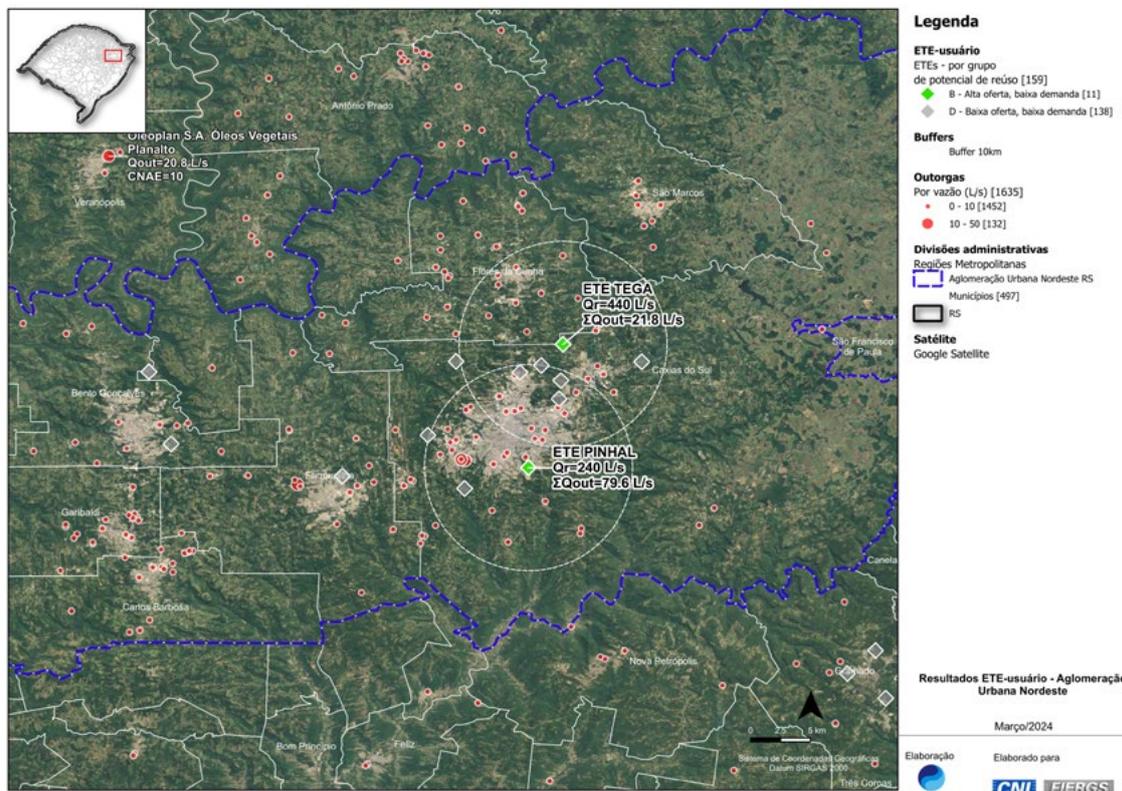
4.1.2 AGLOMERAÇÃO URBANA NORDESTE

Principais características.

- A Aglomeração Urbana Nordeste contempla 11 municípios, sendo Caxias do Sul o principal, o qual possui a maior expressividade em termos de demanda de água para a indústria. No que se refere ao VAB industrial, destacam-se Caxias do Sul e Bento Gonçalves (*vide Item 3.5*).
- Região com número moderado de ETEs (15) e elevada quantidade de outorgas industriais (aprox. 180), mas que tendem a ser relativamente pequenas e dispersas pelo território, somando vazão outorgada total de aproximadamente 200 L/s.
- Há presença marcante dos segmentos de Fabricação de produtos alimentícios, Fabricação de bebidas e metalurgia.
- Com a exceção de Caxias do Sul e Garibaldi, todos os municípios possuem índice de tratamento de esgotos abaixo de 20% (*vide Item 3.3.1*).
- Há presença apenas de ETEs do grupo B, conforme a seguir. As ETEs do grupo D não são abordadas com mais detalhes.
 - **Grupo B (alta oferta, baixa demanda):** a ETE Pinhal e a ETE Tega, ambas em Caxias do Sul. Ambas são dotadas de processo físico-químico – o que não é usual para o tratamento de efluentes sanitários – e possuem vazões de 240 L/s (ET Pinhal) e 440 L/s (ETE Tega). Há número considerável de outorgas nas proximidades, mas geralmente todas abaixo de 10 L/s, com exceção de um *cluster* de outorgas da Seara Alimentos que somam ~60L/s a oeste da ETE Pinhal.

O Mapa 20 mostra o panorama da Aglomeração Urbana Nordeste com todas as ETEs, outorgas industriais e raios de 10km.

MAPA 20 – Oportunidades ETE-usuário – Aglomeração Urbana Nordeste



Fonte: elaborado pelos autores.

4.1.3 AGLOMERAÇÃO URBANA SUL

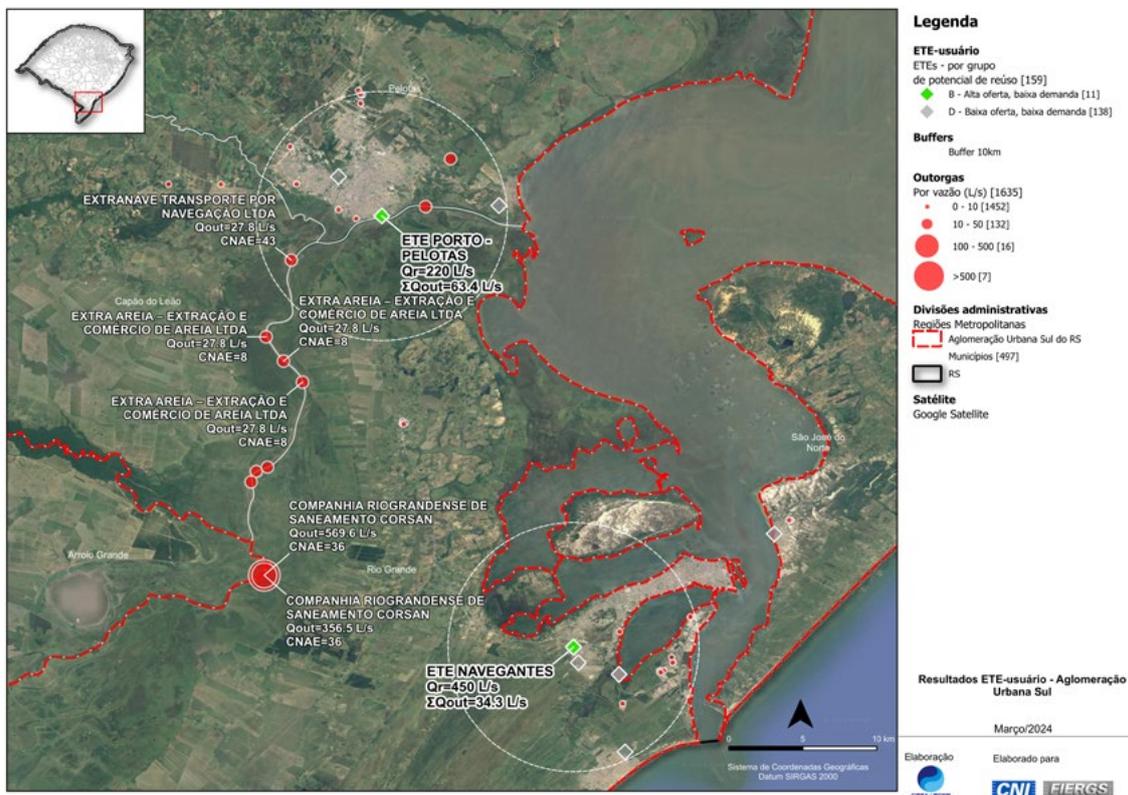
Principais características.

- A Aglomeração Urbana Sul contempla quatro municípios, sendo Rio Grande o principal. Rio Grande possui a maior expressividade em termos de demanda de água para a indústria e VAB industrial. Além de Rio Grande, Capão do Leão também apresenta demandas expressivas de água para a indústria, e Pelotas possui VAB industrial elevado (*vide Item 3.5*).
- Há 10 ETEs na região, sendo as mais relevantes as localizadas em Rio Grande e ETE Porto em Pelotas. Há cerca de 50 outorgas industriais, as quais somam aprox. 1.300 L/s.
- Há presença marcante de indústrias alimentícias, extração de minerais não metálicos (basicamente areia) e água, esgoto e atividades de descontaminação.
- Com a exceção de Rio Grande, todos os municípios possuem índice de tratamento de esgotos abaixo de 20% (*vide Item 3.3.1*).
- Há presença apenas de ETEs dos grupos B, conforme apresentado a seguir. As ETEs do grupo D não são abordadas com mais detalhes.

- **Grupo B (alta oferta, baixa demanda):** A ETE Porto (Pelotas), com $Q_R = 220$ L/s, processo UASB, e demandas próximas e iguais a 63,4 L/s. A ETE Navegantes, em Rio Grande, com $Q_R = 450$ L/s, processo de Lagoas, e demandas próximas iguais a 34,3 L/s

O Mapa 21 mostra o panorama da Aglomeração Urbana Sul com todas as ETEs, outorgas industriais e raios de 10km.

MAPA 21 – Oportunidades ETE-usuário – Aglomeração Urbana Sul



Fonte: elaborado pelos autores.

4.1.4 OUTRAS REGIÕES

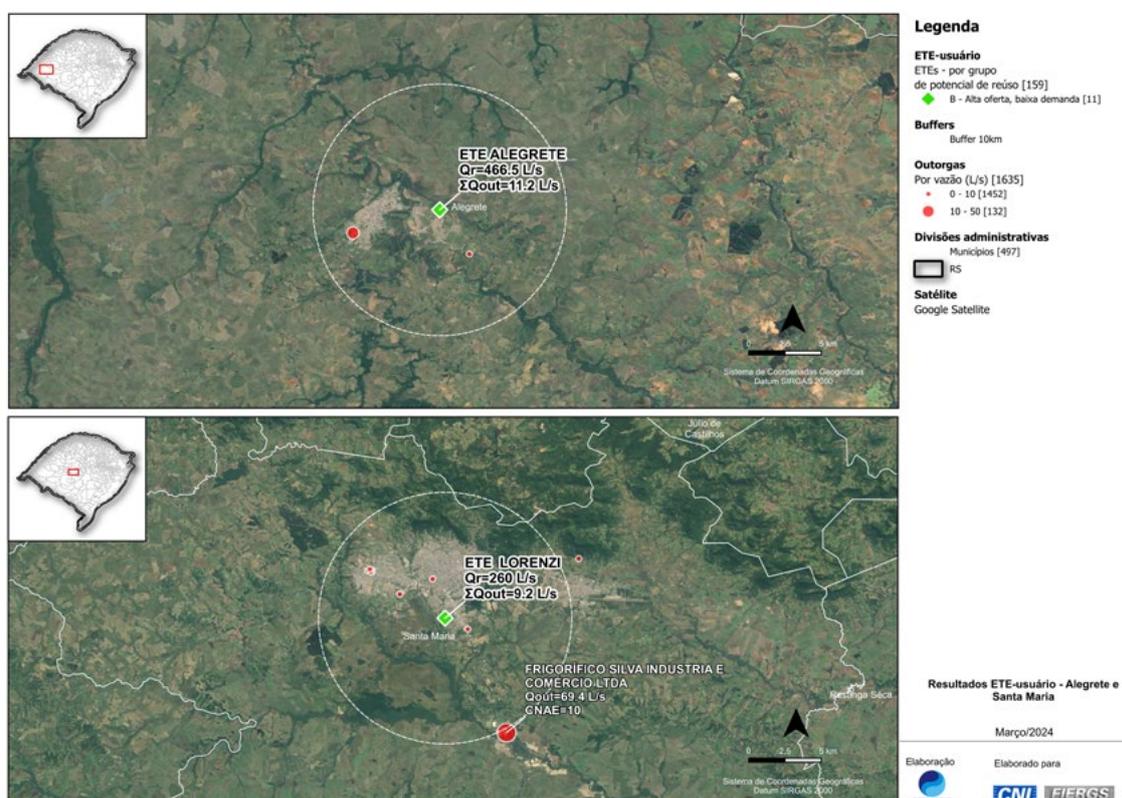
Além das três regiões abordadas nos itens anteriores, outras também apresentaram relevância, com ETEs classificadas nos grupos B e C. Essas áreas não necessariamente estão próximas entre si e foram agrupadas por questões de otimização na produção dos mapas.

4.1.4.1 Alegrete e Santa Maria

Alegrete e Santa Maria possuem ETEs expressivas, com vazões na faixa e 250-400 L/s, mas demandas industriais relativamente pequenas. Ambos possuem índices de tratamento de esgotos baixos (abaixo de 50%) e estão em áreas consideradas críticas em termos de balanço hídrico, especialmente Santa Maria, com condição de criticidade quali-quantitativa.

O Mapa 21 mostra o panorama de Alegrete e Santa Maria com todas as ETEs, outorgas industriais e raios de 10km.

MAPA 22 – Oportunidades ETE-usuário – Alegrete e Santa Maria



Fonte: elaborado pelos autores.

Em Alegrete, há somente uma outorga relevante, com vazão 11,1 L/s, destinada ao setor de Eletricidade e Gás. Em Santa Maria, há número mais elevado de usuários industriais, principalmente nos segmentos de Fabricação de produtos alimentos e de Fabricação de bebidas. A maior outorga da região (69,4 L/s, produção de alimentos), a qual está fora do raio de 10km por alguns metros, e por isso não foi computada pelo método utilizado, mas representa potencial usuário de água de reúso.

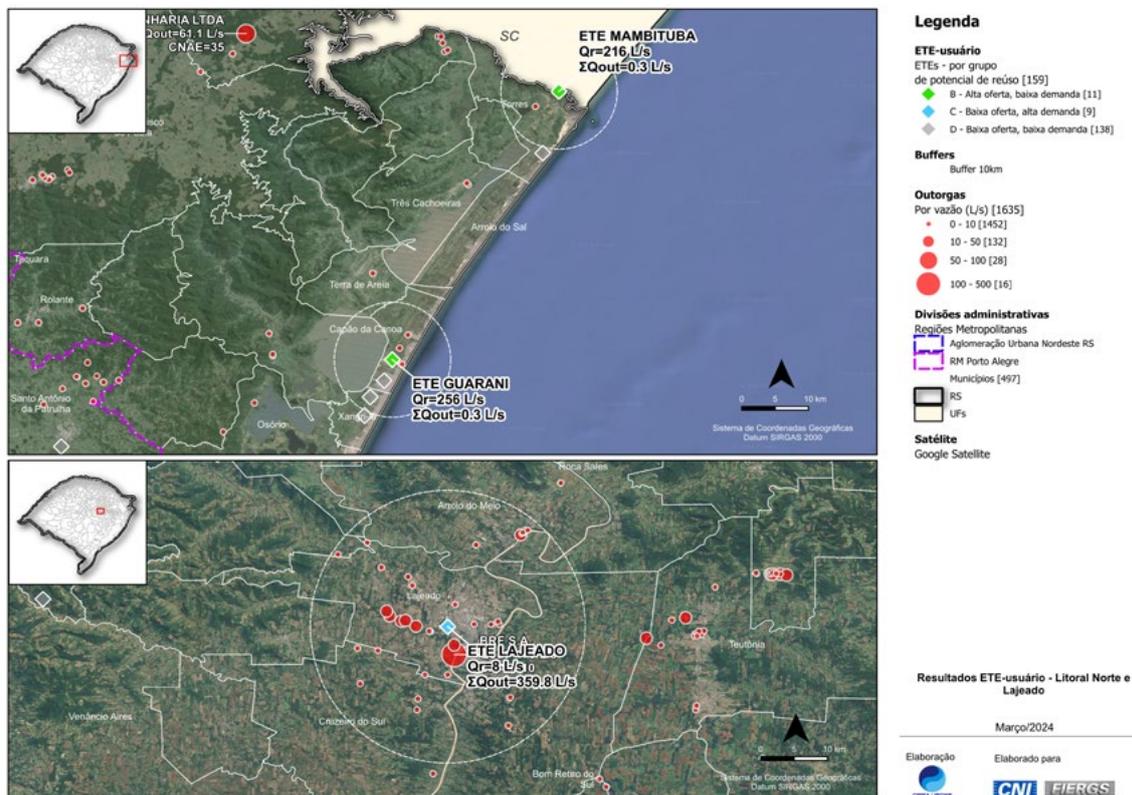
4.1.4.2 Litoral Norte e Lajeado

No Litoral Norte, mas especificamente nas cidades de Torres e Capão da Canoa, há ETEs com vazões relevantes em cujas proximidades não há demandas industriais expressivas.

- **Grupo B (alta oferta, baixa demanda):** ETE Lajeado (Lajeado), com vazão de 216 L/s e processo de lagoas e ETE Guarani (Capão da Canoa), com vazão de 256 L/s e processo aeróbio (filtro aerado submerso). As outorgas industriais nas proximidades são muito baixas, com somatório inferior a 1 L/s.
- **Grupo C (baixa oferta, alta demanda):** A ETE Lajeado (Lajeado) tem situação oposta às estações dos municípios do Litoral Norte. A ETE possui vazão de apenas 8 L/s, processo de aeróbio (filtro biológico percolador), e as demandas próximas somam, aproximadamente, 360 L/s, principalmente para o segmento de alimentos (BRF e Minuano Alimentos).

O Mapa 23 mostra o panorama do Litoral Norte e Lajeado com todas as ETEs, outorgas industriais e raios de 10km.

MAPA 23 – Oportunidades ETE-usuário – Litoral Norte e Lajeado



Fonte: elaborado pelos autores.

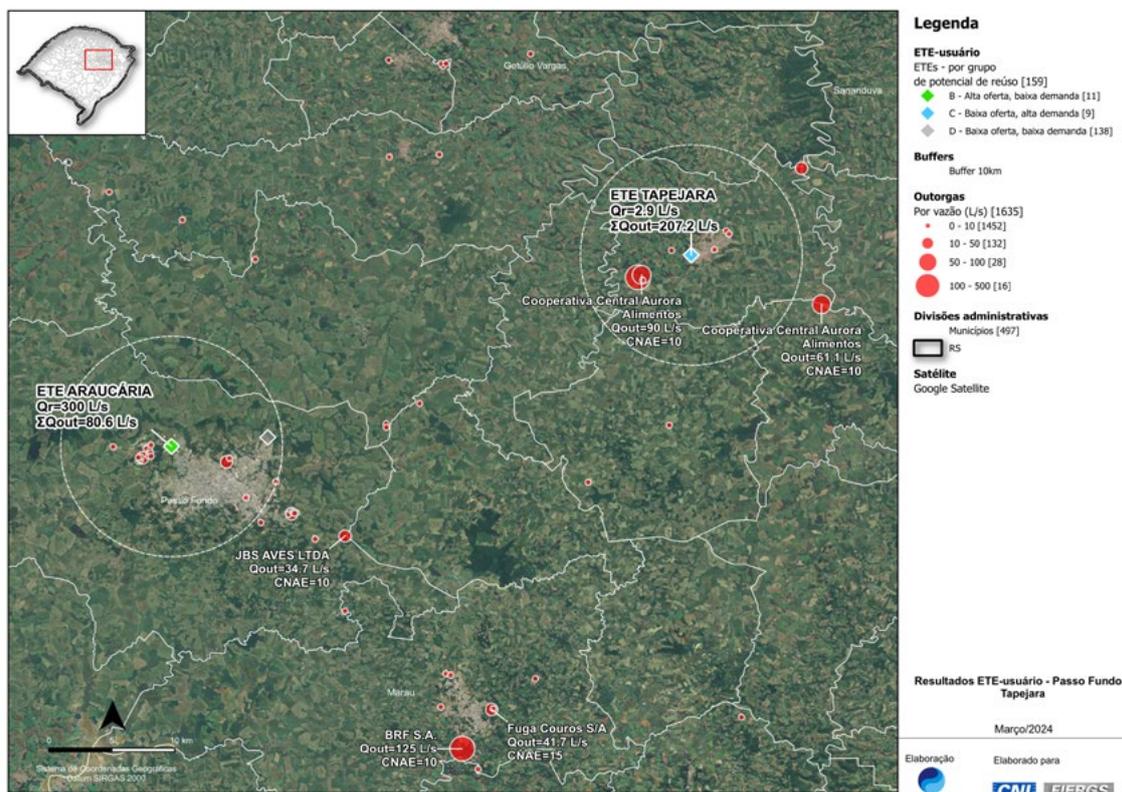
4.1.4.3 Passo Fundo e Tapejara

Passo Fundo e Tapejara possuem situações opostas. Em Passo Fundo, a ETE Araucária possui elevada vazão (300 L/s), processo de Lagoas, e, ainda que haja quantidade considerável de indústrias nas proximidades (alimentos, bebidas e biodiesel), as outorgas são relativamente pequenas e somam somente 77,8 L/s. A cidade possui índice de tratamento de esgotos abaixo de 30% e uma parte considerável das microbacias está em condição de criticidade qualiquantitativa.

Do contrário, a ETE Tapejara (Tapejara) possui pouca expressividade, com vazão de 2,9 L/s, e processo de tratamento por fossa-filtro, o que resulta em índice de tratamento municipal menor que 1%. A cidade também possui parcela importante de microbacias com criticidade qualiquantitativa ou apenas qualitativa. Há demandas industriais muito expressivas, somando 207,2 L/s num raio de 10km, e outros 72,1 L/s em áreas próximas às margens do rio Ligeiro, o que totalizam quase 300 L/s de demandas, todas para o segmento de produção de alimentos.

O Mapa 24 mostra o panorama de Passo Fundo e Tapejara com todas as ETEs dos grupos B e C, outorgas industriais e raios de 10km.

MAPA 24 – Oportunidades ETE-usuário – Passo Fundo e Tapejara



Fonte: elaborado pelos autores.

4.2 OPORTUNIDADES DE REÚSO PELO ÍNDICE DE APTIDÃO DE REÚSO (IAR)

A detecção de oportunidades de reúso pelo Método IAR possui caráter de área e é mais abrangente quando comparado ao Método ETE-usuário, contemplando todo o estado do Rio Grande do Sul. Cada porção do estado foi avaliada em relação aos quatro critérios e dois subcritérios que compõem o modelo (*vide Item 2.4*), recebendo uma pontuação de IAR ao final.

Conforme prevê o método do IAR, as áreas com maior aptidão são aquelas que possuem convergência dos atributos que conferem maior potencial de reúso, como intensidade e tendência da atividade da indústria (Critério C1), demandas industriais por água (C2), oferta de efluentes (C3) e condição de balanço hídrico qualiquantitativo (C4).

Os resultados obtidos foram categorizados conforme faixas apresentadas na Tabela 23.

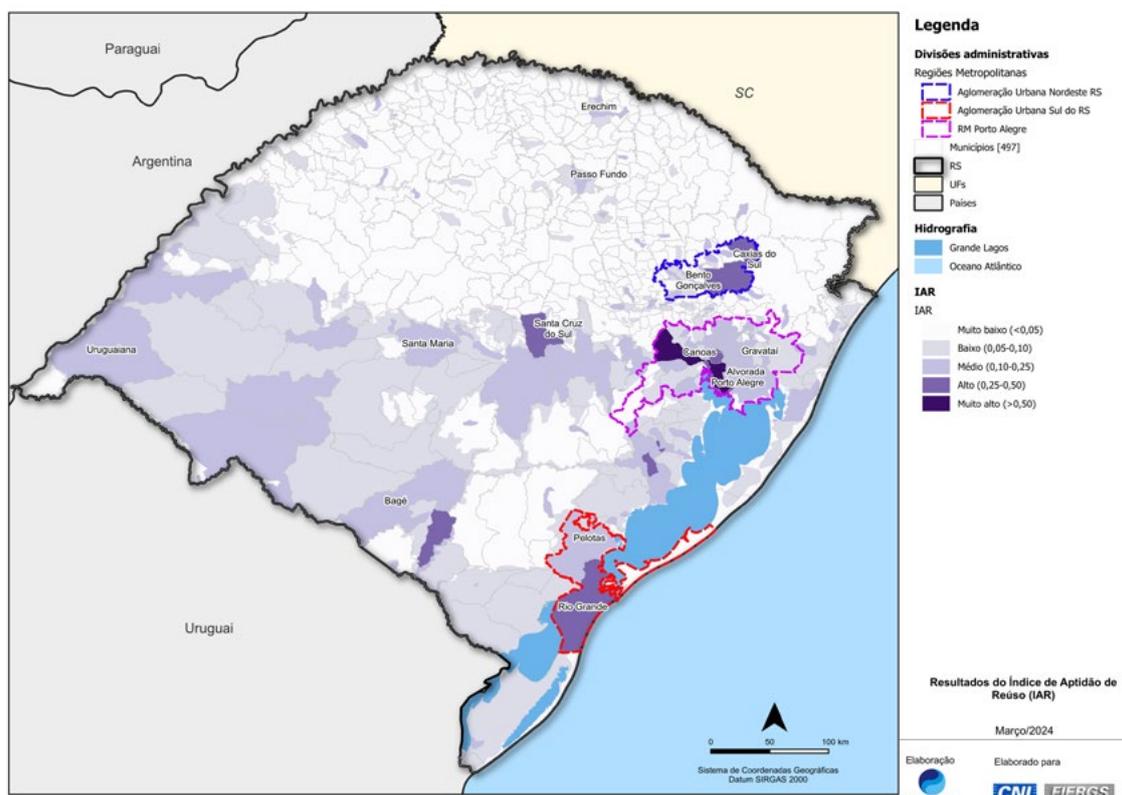
TABELA 23 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes

IAR	Valores	Área (km ²)	%Área
Muito alto	IAR > 0,50	2.953	1,10%
Alto	0,25 < IAR ≤ 0,50	3.025	1,13%
Médio	0,10 < IAR ≤ 0,25	72.623	27,08%
Baixo	0,05 < IAR ≤ 0,10	52.042	19,41%
Muito baixo	IAR ≤ 0,05	137.535	51,28%
Total	-	268.178	100,00%

Fonte: elaborado pelos autores.

Da totalidade do território, 1,10% da área foi considerada com IAR muito alto e outros 1,13% com IAR Alto. As áreas com IAR médio ou baixo são 46,49%, e o IAR muito baixo detém os demais 51,28%. O Mapa 25 mostra os resultados obtidos de IAR.

MAPA 25 – IAR



Fonte: elaborado pelos autores.

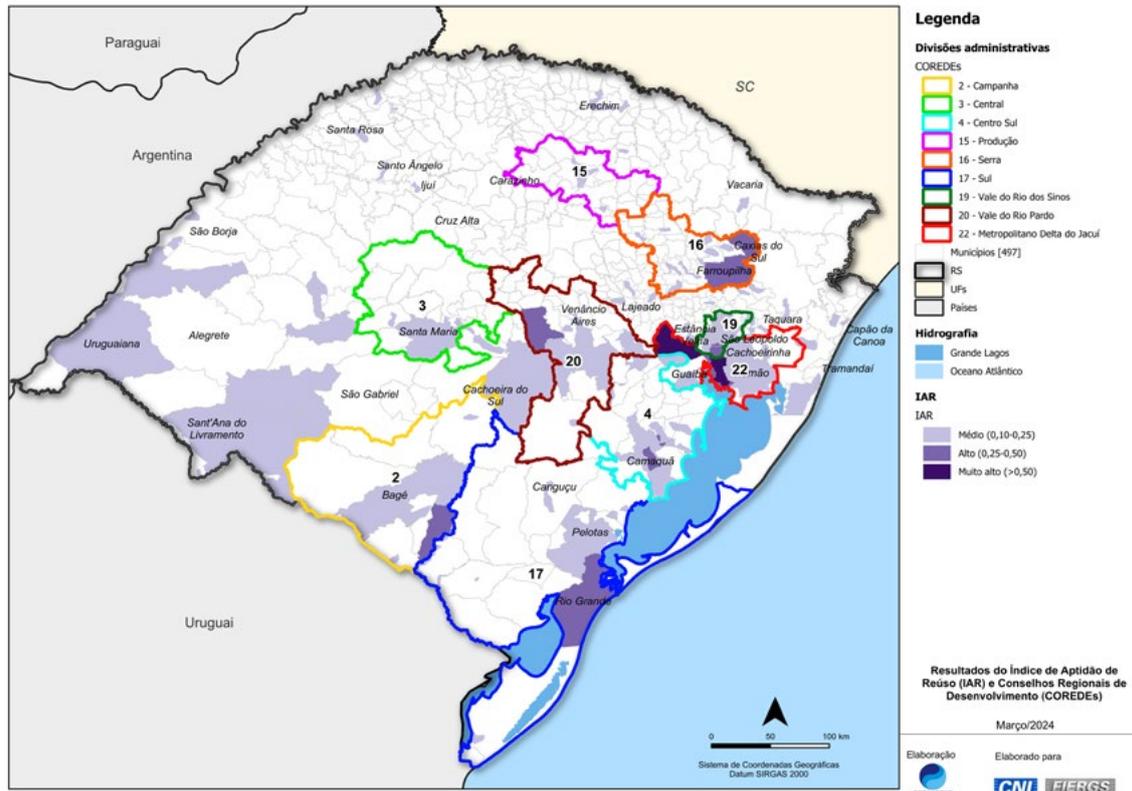
As áreas com maior potencial de reúso estão localizadas na RM-POA, Aglomeração Urbana Nordeste e Aglomeração Urbana Sul, principalmente porque essas áreas detêm valores importantes de demandas industriais e/ou de geração de efluentes, bem como atividade industrial mais intensa. No entanto, há áreas substanciais nas regiões centro e sul do estado, nas áreas de Uruguiana, Bagé, Santa Maria, Sant'Ana do Livramento, São Vicente do Sul, Cachoeira do Sul/Rio Pardo/Candelária. Na porção norte, nas regiões de Passo Fundo, Erechim, Tapejara, Santa Rosa também há áreas com IAR considerável.

Foram selecionados nove Coredes (entre os 28) para avaliações mais minuciosas sobre os resultados de IAR. São eles:

- **2** – Campanha
- **3** – Central
- **4** – Centro sul
- **15** – Produção
- **16** – Serra
- **17** – Sul
- **19** – Vale do Rio do Sinos
- **20** – Vale do Rio Pardo
- **22** – Metropolitano Delta do Jacuí

O Mapa 26 destaca os Coredes selecionados, bem como mostra somente as áreas com IAR médio, alto ou muito alto.

MAPA 26 – IAR e Coredes



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Tabela 24, são apresentadas avaliações de cada um dos Coredes selecionados em relação ao IAR e seus critérios, bem como uma coluna com características gerais e sugestões de diretrizes de planejamento.

TABELA 24 – Análise dos Coredes prioritários de acordo com os resultados de IAR

COREDE	Desempenho em relação aos critérios				Características gerais e diretrizes de planejamento
	C1 VAB	C2 Demandas industriais	C3 Geração de esgotos	C4 Balanço hídrico	
2 – Campanha	Razoável. Destaque a Candiota, que possui elevado VAB industrial e tendência forte de crescimento na última década, e, em menor proporção, Bagé.	Razoável. Desteque a Candiota, com demandas expressivas nos setores de eletricidade e extração de areia.	Baixa. Desteque a Bagé, com geração considerável de esgotos.	Alto. Quase a totalidade do território em criticidade quantitativa, com áreas de Bagé e Candiota em criticidade qualitativa.	Apresenta fatores relativamente modestos em comparação aos demais, mas a presença de Candiota, e em menor escala Bagé, torna a área interessante para reúso. Candiota é um dos municípios com maior VAB industrial e com maior tendência de crescimento na última década. A população do município é, ainda, pequena, e é possível pensar em arranjos de abastecimento das demandas industriais com água de reúso a partir dos efluentes de Bagé. O sul do RS apresenta condições de balanço hídrico muito mais desfavoráveis que o norte, e o COREDE 2 é fortemente afetado por isso. Os índices de tratamento de esgotos na região são geralmente inferiores a 20% (exceto Bagé, com 21,2%), o que indica a expansão futura das vazões de esgoto tratado disponíveis para produção de água de reúso, o que poderia abastecer a crescente indústria de Candiota.
3 – Central	Razoável. Desteque a Santa Maria e, em menor proporção, Pinhal Grande.	Baixo. Pouca expressividade, com alguma presença de outorgas em Santa Maria.	Razoável. Desteque somente a Santa Maria, com produção expressiva de esgotos.	Razoável. Porção norte apresenta situação hídrica satisfatória, mas o sul, onde está localizada Santa Maria, possui situação bastante crítica, com elevado grau de criticidade quanti e qualitativa.	Apresenta fatores moderados em termos do IAR, mas o município de Santa Maria possui condições de maior relevância. A cidade possui VAB industrial e produção de esgotos razoáveis, bem como está em bacias hidrográficas com alto grau de estresse hídrico. As demandas industriais não são relevantes, mas há presença de algumas outorgas de relevância. O COREDE 3 está em área suscetível a escassez hídrica, sendo sua porção sul, onde está localizada Santa Maria, a mais severamente atingida. Por ser a sétima cidade mais populosa do estado, a geração de esgotos é expressiva em Santa Maria, mas os demais municípios não apresentam características especialmente favoráveis ao reúso.
4 – Centro Sul	Razoável. Desteque a Camaquã.	Alto. Camaquã possui demandas industriais elevadas para o segmento de fabricação de produtos alimentícios.	Razoável. Desteque a Camaquã, com geração considerável de esgotos.	Razoável. Áreas urbanizadas de Camaquã em criticidade qualitativa, com porções do COREDE relevantes em criticidade quantitativa.	Apresenta fatores moderados em termos do IAR, basicamente em razão de Camaquã. O município possui demandas industriais relevantes, devidas quase que exclusivamente a um único usuário do segmento de alimentos. O COREDE 4 está em área com criticidade hídrica importante, com a maior parte do território em escassez quantitativa ou qualitativa.
15 – Produção	Alto. Desteque a Camargo, Passo Fundo e Marau. Camargo, apesar de possuir VAB industrial relativamente baixo, é o município com maior crescimento na última década.	Razoável. Desteque a Passo Fundo e Marau.	Razoável. Desteque a Passo Fundo e Carazinho.	Razoável. No entanto, condição de criticidade elevada no município de Passo Fundo.	As demandas industriais e a geração de esgoto na área são razoáveis, com destaque basicamente a Passo Fundo. O balanço hídrico é relativamente confortável, exceto em Passo Fundo e algumas áreas em Marau, Camargo e Carazinho. O COREDE 15 destaca-se em termos de VAB Industrial. Passo Fundo é o principal município da região em termos de VAB industrial absoluto, mas há uma tendência notável de crescimento do VAB industrial na última década em outras cidades; com destaque a Camargo (o município com o maior crescimento de VAB industrial do estado), Santo Antônio do Planalto, Almirante Tamandaré do Sul e Casca. Isso indica incremento da atividade industrial na região, o que poderá levar a aumentos expressivos nas demandas de água nos próximos anos.

Desempenho em relação aos critérios					Características gerais e diretrizes de planejamento
COREDE	C1 VAB	C2 Demandas industriais	C3 Geração de esgotos	C4 Balanço hídrico	
16 – Serra	Muito alto. Destaque a Caxias do Sul, o município com o maior VAB do estado.	Baixo. Ainda que haja elevada atividade industrial, os usuários são pouco intensivos no uso de água.	Alto. Desteque a Caxias do Sul e Bento Gonçalves.	Razoável. Região apresenta algumas poucas Bacias com criticidade.	Ainda que detenha VAB industrial elevado – Caxias do Sul possui o maior VAB industrial do estado –, as demandas industriais de água não são especialmente altas. A existência de municípios populosos, principalmente Caxias do Sul e Bento Gonçalves, confere alta geração de esgotos à área. O balanço hídrico na área é razoável, apresentando condições satisfatórias em diversas microbacias, mesmo que seja uma aglomeração urbana. Ainda assim, há criticidade hídrica em Bacias de Farrópoula e Caxias do Sul. O COREDE 16 já possui um ecossistema industrial complexo, mas não se verifica a presença de indústrias hidrotensivas. O IAR possui valores mais elevados nas áreas urbanizadas de Caxias do Sul e, em menor proporção, Flores da Cunha e São Marcos. Nota-se certa desconcentração do VAB industrial na última década dentro do próprio COREDE, com estagnação do crescimento em Caxias do Sul e aumento expressivos em cidades mais periféricas, como Fagundes Varela e Antônio Prado.
17 – Sul	Alto. Desteque a Rio Grande e, em menor proporção, Pelotas.	Alto. Desteque a Rio Grande e Pelotas.	Alto. Desteque a Pelotas e Rio Grande.	Alto. Parte expressiva do território em criticidade quanti ou qualitativa.	O VAB industrial é alto e há crescimento muito expressivo do VAB industrial em diversos municípios, como São José do Norte, Chuí, Pedras Altas, Santa Vitória do Palmar e Piratini. Há demandas industriais relevantes no COREDE, principalmente em Rio Grande, Pelotas e Capão do Leão. A geração de efluentes é alta, especialmente em Pelotas e Rio Grande. O balanço hídrico é bastante crítico nas áreas urbanas de Rio Grande e Pelotas, e a maior parte do território está sob estresse hídrico quantitativo.
19 – Vale do Rio dos Sinos	Alto. Especialmente por conta de Canoas, mas há tendência de desconcentração na última década.	Razoável. Desteque a Esteio.	Alto. Desteque a Canoas e Esteio.	Muito alto. Quase a totalidade do território em criticidade qualitativa.	Ainda que detenha VAB industrial elevado, as demandas industriais de água não especialmente são altas, em razão da característica de uso de água dos segmentos mais comuns. A exceção é o município de Esteio, onde há demandas relevantes. A geração de esgotos é elevada, principalmente em Esteio e Canoas. O balanço hídrico é bastante crítico em praticamente todo o território. Com exceção de Canoas, o VAB industrial na última década sofreu reduções, estagnação ou crescimento moderados para os demais municípios do COREDE.
20 – Vale do Rio Pardo	Razoável. Desteque a Santa Cruz do Sul.	Razoável. Desteque a Candelária e General Câmara.	Razoável. Desteque a Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires.	Alto. Parte expressiva do território em criticidade quanti ou qualitativa.	O VAB industrial e a geração de esgotos são medianos. A demanda de água pela indústria, no entanto, apresenta expressividade no município de Candelária, essencialmente por um único usuário do segmento de fabricação de produtos de minerais não metálicos. Parte relevante do COREDE está sob estresse hídrico quantitativo ou qualitativo. O IAR possui valores mais altos em áreas dos municípios de Candelária e Santa Cruz do Sul.
22 – Metropolitano Delta do Jacuí	Alto. Desteque a POA e Triunfo, mas há tendência de desconcentração na última década.	Alto. Basicamente por conta de Triunfo, onde está localizado o Polo Petroquímico, um grande demandante de água. POA, apesar de alto VAB industrial, não possui indústrias hidrotensivas.	Muito alto. Desteque a Porto Alegre, Alvorada, Guaíba e Cachoeirinha.	Muito alto. Quase a totalidade do território em criticidade quanti ou qualitativa.	Apresenta fatores muito favoráveis ao reúso, por conta de elevado VAB industrial, altas demandas industriais (principalmente em Triunfo), a maior geração de esgotos do estado (Porto Alegre) e condição muito crítica de balanço hídrico. Ainda que haja um número expressivo de usuários industriais, a maioria das demandas de água está concentrada no Polo Petroquímico de Triunfo. Há, também, demandas expressivas da Santher em Guaíba, mas na capital POA não há demandas expressivas de água para a indústria, justamente onde estão as maiores gerações e tratamentos de esgotos do estado. Ainda que o VAB industrial seja elevado, notou-se retração do VAB da indústria na última década em importantes cidades, como Porto Alegre e Gravataí. Para as demais, observou-se estagnação ou crescimento somente moderado.

Fonte: elaborado pelos autores.



5 ESTUDOS DE CASO

Para aprofundamento e exemplificação das metodologias desenvolvidas e aplicadas neste estudo, foram avaliados mais detalhadamente dois estudos de caso, os quais abordam situações diferentes encontradas no estado do Rio Grande do Sul. São eles:

- **Estudo de caso #1:** Polo Petroquímico de Triunfo (RM-POA), onde se encontra o SITEL (Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes).
- **Estudo de caso #2:** município de Lajeado: abastecimento de demandas da BRF (Brazil Foods) a partir da ETE Lajeado.

5.1 ESTUDO DE CASO #1: POLO PETROQUÍMICO DE TRIUNFO

5.1.1 CONTEXTO

O Estudo de Caso #1 (EC1) escolhido foi o do Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Líquidos (SITEL) que atende ao Polo Petroquímico de Triunfo, em Triunfo.

O SITEL possui duas peculiaridades em relação às demais ETes abordadas neste estudo: i) é uma estação para tratamento de efluentes industriais; ii) o efluente tratado é infiltrado no solo, e não lançado superficialmente em corpos hídricos.

O sistema recebe duas correntes: efluentes orgânicos, tratados por processo físico-químico aliado a lodos ativados aeração prolongada; e efluentes industriais, os quais são submetidos somente a polimento. Ambos os efluentes tratados são unidos antes do lançamento final, o qual ocorre por infiltração no solo por aspersão (CORSAN, 2024).

O abastecimento de água do Polo é feito pela GS Inima, a qual capta água do rio Caí (outorga de captação de 1.750 L/s) e a trata para distribuição aos usuários do polo.

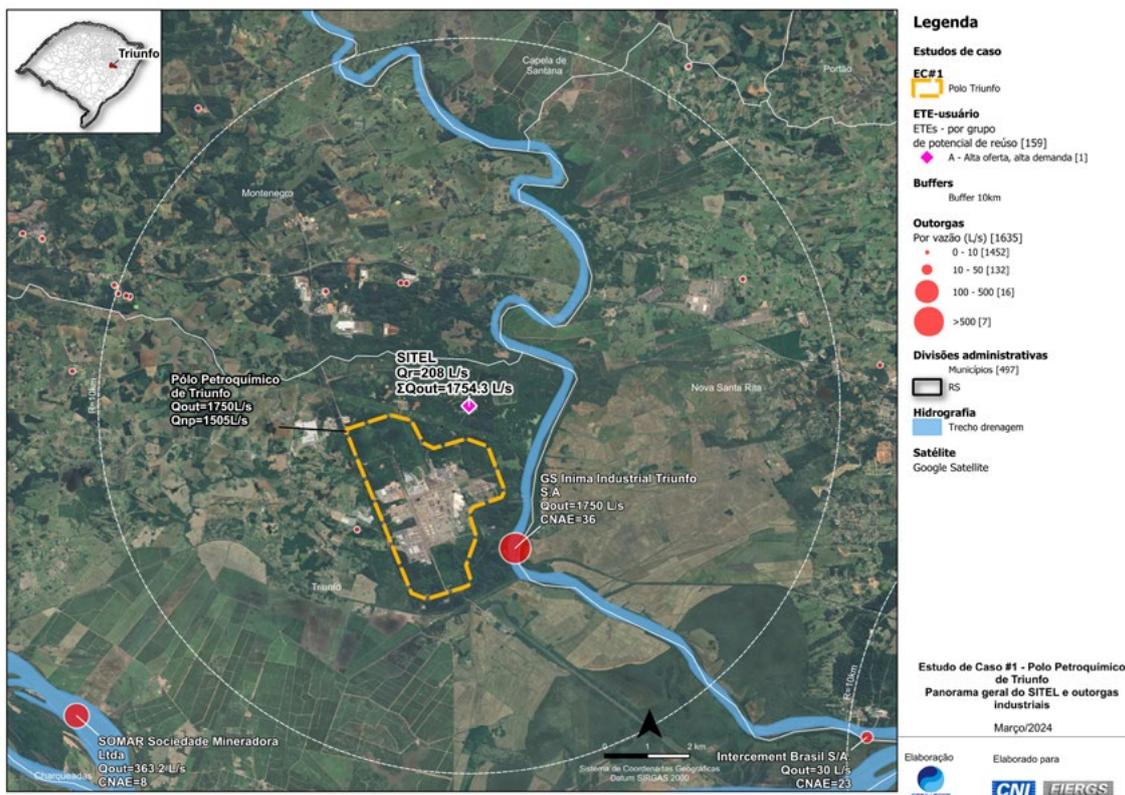
Avaliando-se o entorno do SITEL e do Polo Petroquímico de Triunfo:

- **Tratamento de esgotos:** O índice de tratamento de esgotos do município de Triunfo é de 0%, isto é, não há nenhuma ETE na cidade, e todo o efluente gerado é lançado *in natura* nos corpos hídricos. O índice de coleta de esgotos também é igual a zero. O mesmo ocorre para os municípios vizinhos de Nova Santa Rita, Montenegro e Charqueadas, os quais também possuem 0% de coleta e de tratamento de esgotos. No caso de Triunfo, os 46 L/s de esgotos gerados são despejados no meio ambiente sem que haja coleta nem tratamento (*vide Mapa 27*).

- **Demandas industriais:** Além da outorga de 1.750 L/s da GS Inima para abastecimento do Polo, há também outros usuários industriais em Triunfo e nos municípios próximos. Quase todas elas são para extração de areia ao longo do rio Jacuí. O total outorgado para a indústria em Triunfo é 2.697 L/s (*vide* Tabela 10), o que o torna o terceiro município com as maiores demandas industriais.
- **Balço hídrico qualiquantitativo:** A área do Polo encontra-se em bacia com criticidade qualitativa, estando a maior parte das bacias vizinhas em condição de criticidade qualiquantitativa ou quantitativa (*vide* Mapa 28).
- **Potencial de reúso:** O SITEL, por sua proximidade com a outorga que abastece o próprio Polo e sua relativa alta capacidade, está classificada no grupo A (*vide* Item 4.1 e Mapa 28).

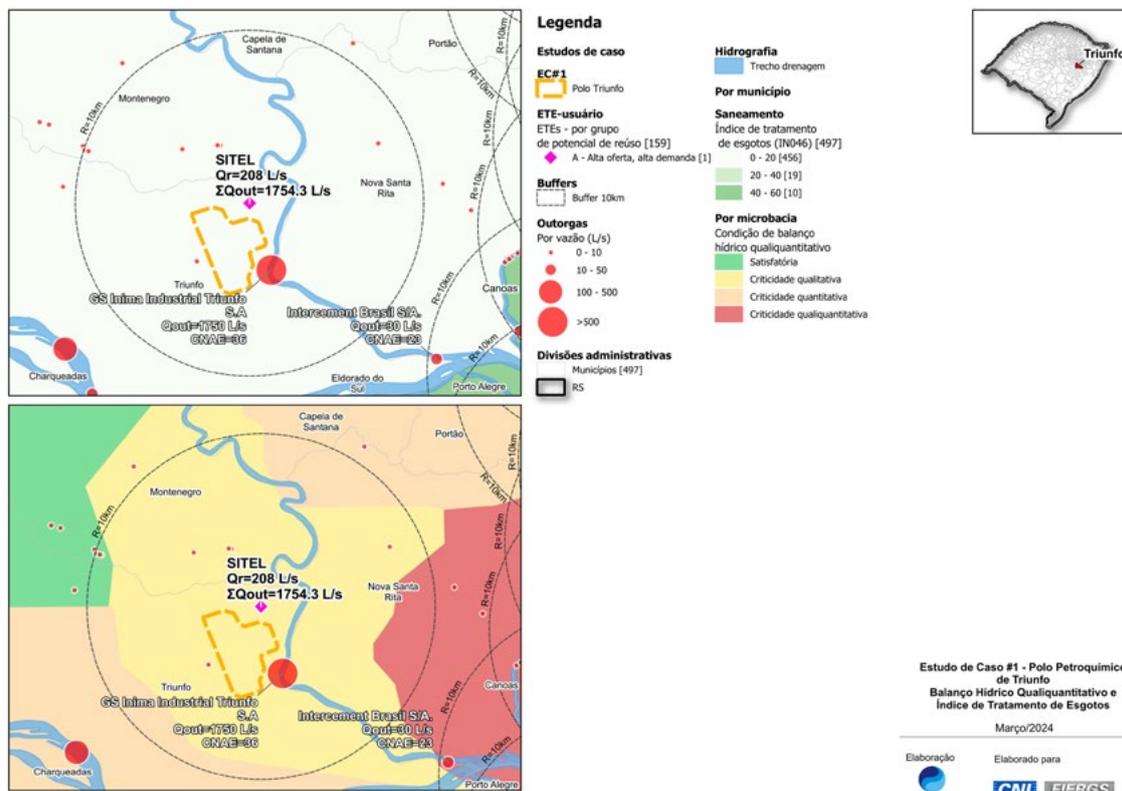
O Mapa 27 e o Mapa 28 apresentam o panorama geral da região do Polo e as situações de balanço qualiquantitativo e de tratamento de esgotos.

MAPA 27 – Estudo de caso #1 – Polo Petroquímico de Triunfo – panorama geral de ETEs e outorgas industriais



Fonte: elaborado pelos autores.

MAPA 28 – Estudo de caso #1 – Polo Petroquímico de Triunfo – balanço hídrico e índice de tratamento de esgotos



Fonte: elaborado pelos autores. Fontes de dados: SNIS 2021 (MDR, 2022), ANA (2024c).

5.1.2 PROJETO ESQUEMÁTICO

Foram definidas as seguintes premissas de projeto esquemático:

- **Tratamento de esgotos:**
 - O SITEL possui vazão de referência (Q_R) de 208 L/s.
- **Demandas industriais:**
 - Foram consideradas as demandas do Polo, as representadas pela outorga da GS Inima no rio Caí com 1.750 L/s.
 - Em indústrias, nem todas as demandas podem ser atendidas por água não potável. Como referência, assumiu-se que a água de reúso será utilizada para reposição de sistemas de resfriamento. No caso do segmento de indústrias químicas e de petróleo, esse uso representa, em média, 86% do total⁵. Portanto, a demanda não potável (Q_{NP}) de referência utilizada foi de $1.750 \times 0,86 = 1.505 \text{ L/s}$.

5 Valor com base em Fukasawa (2021).

- **Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR):**

- **Vazão de projeto:** 200 L/s de água de reúso, valor limitado pela disponibilidade de esgoto secundário do SITEL (208 L/s). Foram estudados dois arranjos da EPAR:
- **Arranjo 1:** processo MBR (Membrane Bioreactor, ou biorreator com membranas) terciário para tratamento dos esgotos, com vazão de projeto de **200 L/s**. As perdas por retirada de lodo biológico em excesso foram desprezadas.
- **Arranjo 2:** variante com implantação de OR (Osmose Reversa) após o MBR para produção de água com baixa condutividade elétrica, adequada para atendimento de demandas mais exigentes.

Assumiu-se que 50% do efluente do MBR será submetido à OR, sendo os outros 50% desviados e unidos ao permeado da OR ao final do tratamento (*blend*). A taxa de aproveitamento da OR foi definida como igual a 70%, isto é, 70% do afluente se converte em permeado e os 30% restantes em concentrado. Como somente 50% da vazão é submetida à OR, o aproveitamento global do sistema é de 85%.

Com essas condições, a vazão de água de reúso produzida é de 170 L/s. O desvio de uma parcela da vazão do MBR se justifica pelo fato de a maior parte da demanda não potável industrial (reposição de água em sistemas de resfriamento) não requer água totalmente desmineralizada. Assim, o desvio de 50% permite, por exemplo, otimização na produção de água de reúso com SDT de 300 mg/L (equivalente a condutividade elétrica de 480 $\mu\text{S/cm}$) a partir de um efluente com SDT de 500 mg/L (800 $\mu\text{S/cm}$), o que é compatível com diversos usos industriais.

- **Adução:**

- A adutora parte do SITEL até a área do polo. O ponto de chegada foi determinado com base na outorga atual e no provável caminhamento da atual adutora de água bruta, o que foi identificado por meio de imagem de satélite (*vide* Figura 8). A adutora foi traçada sobre a malha viária e resultou em comprimento $L = 3,18$ km. O ganho de elevação máximo a partir do ponto inicial é de 24 m.

- **Reservação:**

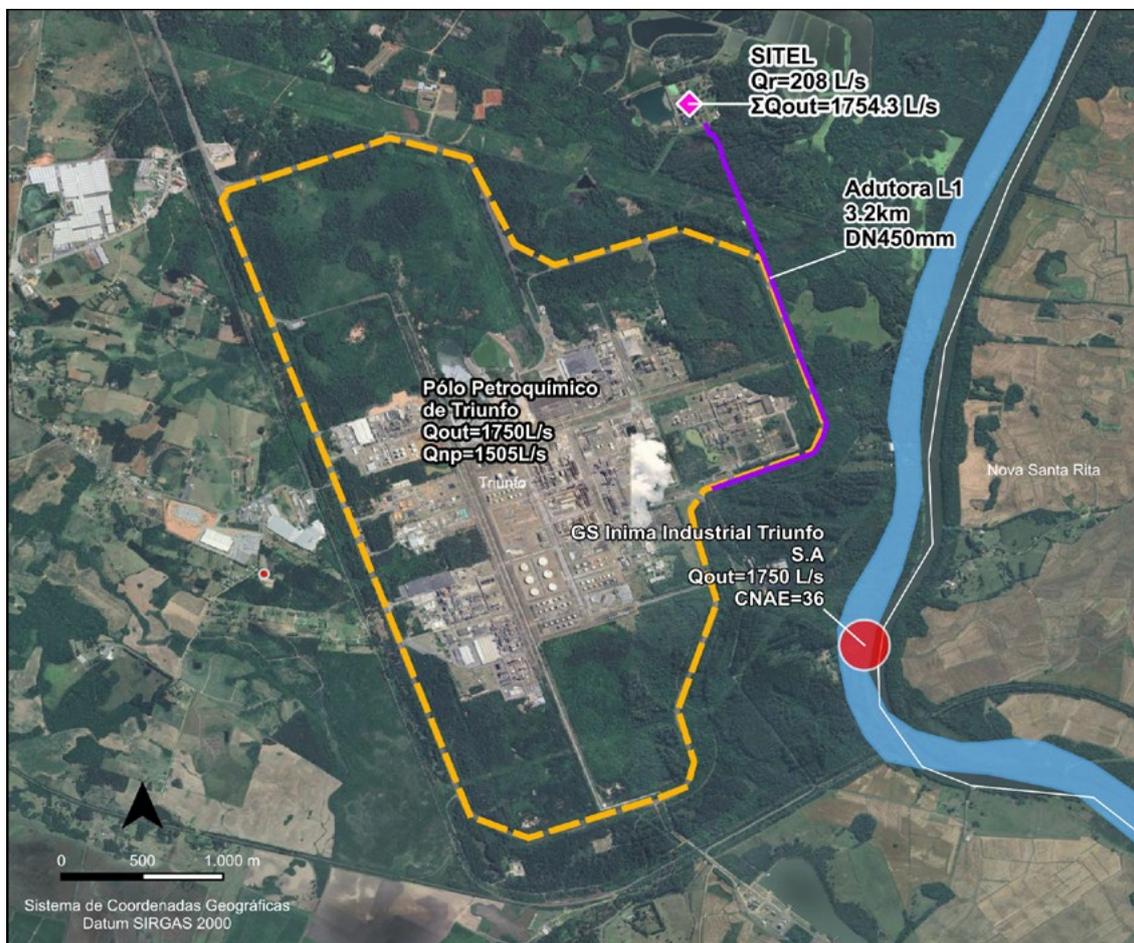
- Previsão de reservatório de água de reúso com TRH ~ 5 h para a Q_{proj} , resultando em 1.000 m³.

- **Estimativas de custos:**

- Os custos de Capex e Opex de tratamento, adução e reservação, bem como os cálculos financeiros, foram realizados conforme equações apresentadas no **Anexo D**.

A Figura 6 apresenta o SITEL, a adutora prevista (3,2 km, DN450) e o Polo de Triunfo, cujas vazão outorgada (Q_{out}) e não potável (Q_{Np}) são mostradas.

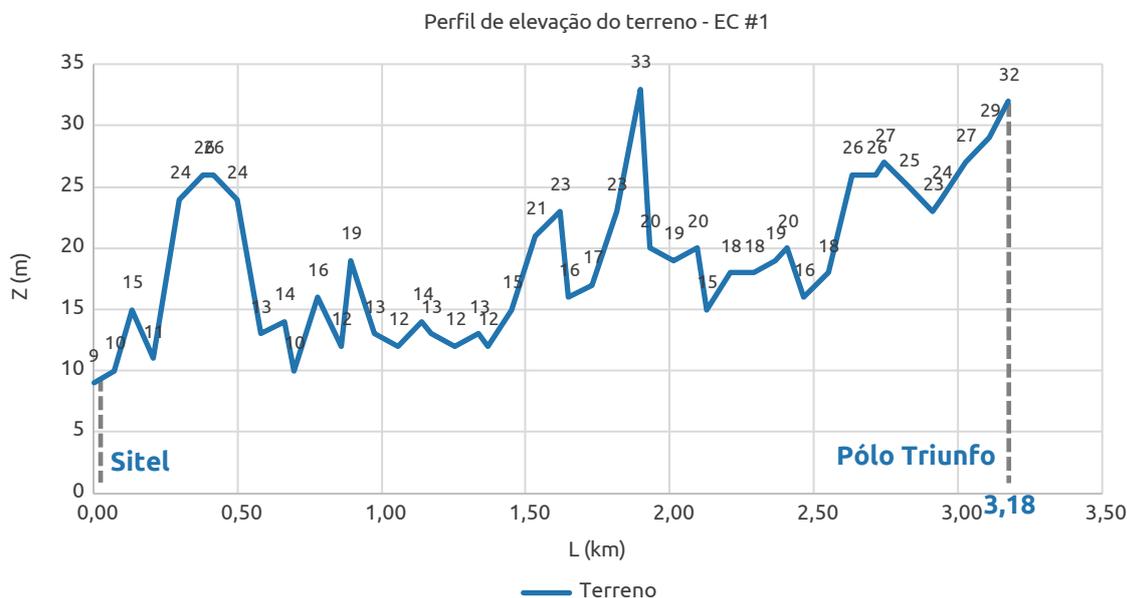
FIGURA 6 – Estudo de caso #1 – arranjo esquemático do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento da Polo Petroquímico de Triunfo a partir do SITEL



Obs.: Q_{out} : vazão outorgada. Q_{np} : vazão não potável. Q_r : vazão de referência (ETE). DN: diâmetro nominal (tubulação)
 Fonte: elaborado pelos autores.

O traçado da adutora foi sobreposto ao Modelo de Elevação Digital – MDE (WEBER *et al.*, 2004) do estado para obtenção do perfil de elevação, conforme mostra a Figura 7, em que se vê ganho de elevação (24 m) moderado.

FIGURA 7 – Estudo de caso #1 – perfil de elevação do terreno



Fonte: elaborado pelos autores. Modelo de elevação por Weber *et al.* (2004).

As variáveis utilizadas para o cálculo dos custos foram as da Tabela 25.

TABELA 25 – Estudo de caso #1 – variáveis de projeto adotadas

Item	Var.	Valor	Descrição	
Capacidade da EPAR	Q_{proj}	200 L/s	Vazão de projeto da EPAR	
Capacidade da OR (somente para Arranjo 2)	Q_{OR}	100 L/s	Vazão do sistema de OR, correspondente a 50% da vazão da EPAR	
Demanda a ser abastecida	Q_{NP}	200 L/s	Demanda industrial não potável a ser suprida	
Adutora	Trecho pressurizado	$L_{1,p}$	3,18 km	Comprimento do ponto de saída até o trecho mais alto
		$DN_{1,p}$	450 mm	Diâmetro nominal da tubulação
		$\Delta H_{g,1,p}$	24,0 m	Desnível geométrico máximo
		AMT_p	36,9 m	Altura manométrica total no trecho, incluindo perdas
Potência da elevatória	P	102,5 kW	Potência requerida pelo sistema elevatório	
Reservatório	V_1	1.000 m ³	Volume do reservatório de água de reúso	

Fonte: elaborado pelos autores.

Considerando-se as funções de custos de tratamento, distribuição e reservação (ver **ANEXO D**) o Capex e Opex são, para ambos os arranjos estudados, conforme apresenta a Tabela 26.

TABELA 26 – Estudo de caso #1 – Capex, Opex e custos unitários

Item	Arranjo 1 (MBR)		Arranjo 2 (MBR + OR) ^(a)	
	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)
EPAR	R\$34.208.804	R\$5.593.434	R\$72.793.366	R\$13.373.297
Adutora	R\$4.585.656	R\$976.043	R\$4.585.656	R\$976.043
Estação elevatória	R\$2.141.116		R\$2.141.116	
Reservatório	R\$792.252	R\$35.651	R\$792.252	R\$35.651
Total	R\$41.727.828	R\$6.605.128	R\$80.312.389	R\$14.384.992
Valor unitário (R\$/m³)(b)	R\$1,87/m³		R\$4,54/m³(c)	

(a) O Arranjo 2 considera que 50% da vazão do MBR é submetida à OR, com os 50% restantes desviados e unidos ao permeado a final.

(b) Para VPL= 0, tempo de retorno de 30 anos e taxa de atratividade de 12% aa.

(c) No caso do Arranjo 2, o custo unitário foi calculado em relação à água produzida, igual à 85% do esgoto afluente. Isso resulta em vazão de água de reúso de $200 \times 0,85 = 170$ L/s.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os custos unitários do Arranjo 2 (R\$4,54/m³) são superiores aos do Arranjo 1 (R\$1,87/m³), dado que naquele a água possui qualidade superior. Estudos mais detalhados na área irão indicar como se distribuem os usos de água no SITEL, sendo preferível atender primeiro os usos menos nobres que podem ser supridos por água do Arranjo 1 e, em seguida, exauridos esses usos, verificar quais são aqueles que requerem maior qualidade (Arranjo 2).

A utilização de processo de osmose reversa no Arranjo 2 resulta em inevitáveis perdas na forma de concentrado, reduzindo a vazão de água de reúso efetivamente produzida. Como o valor unitário é calculado com base no m³ produzido, a existência de perdas no processo implica também aumento do custo unitário.

Para ambos os casos, os custos de adução, recalque e reservação são os mesmos, dado que independem da qualidade da água. Há uma pequena redução nos custos com recalque no caso do Arranjo 2, uma vez que a vazão produzida é 15% inferior à do Arranjo 1, mas essa diferença foi considerada desprezível.

Os valores apresentados consideram os custos de implantação e operação dos sistemas, não estando contemplados outros componentes como:

- Impostos aplicáveis sobre a comercialização de água de reúso, como ICMS, PIS/COFINS e ISS;
- Lucro sobre a comercialização da água de reúso;
- Custos com a disposição final do concentrado de OR. Assumiu-se que este corrente pode ser lançada no meio juntamente com o esgoto secundário excedente, dado que a carga de sais do concentrado é a mesma que seria lançada no caso do tratamento convencional para lançamento. Isso, no entanto, deve ser realizado tendo-se atenção às condições de dispersão e mistura no meio aquático.

5.1.3 DISCUSSÃO

O SITEL trata todos os efluentes industriais gerados no Polo Petroquímico de Triunfo. O sistema atualmente infiltra os efluentes tratados no solo, prática que, ainda que devidamente licenciada pela autoridade ambiental, não é usual. É possível que essa prática venha a ser limitada futuramente por salinização do solo ou outros efeitos deletérios causados pela infiltração, mesmo que o efluente atualmente seja tratado de acordo com as condicionantes ambientais aplicáveis.

A captação atual para abastecimento do Polo é de 1.750 L/s, e o SITEL trata 208 L/s. Estimou-se que dos 1.750 L/s captados, 1.505 L/s podem ser abastecidos por água de reúso não potável, o que, ainda assim, é bastante superior à vazão do SITEL. Assim, a capacidade da EPAR proposta está limitada à própria disponibilidade de efluentes.

O custo unitário estimado foi de R\$1,87/m³ para o Arranjo 1 (somente MBR) e R\$4,54/m³ para o Arranjo 2 (MBR + OR), considerando o tratamento, a adução e a reservação de água de reúso. No Arranjo 1, o MBR é suficiente para remoção eficiente de matéria orgânica, sólidos suspensos e agentes patogênicos, entregando água com qualidade suficiente para atendimento a usos que não requeiram controle de salinidade. A água do Arranjo 2 passa por remoção de íons por OR, havendo desvio de parte do efluente do MBR e mistura com o permeado da OR, resultando em água de reúso com concentrações reduzidas de sólidos dissolvidos totais, compatível com usos como reposição de sistemas de resfriamento.

O arranjo esquemático e os custos estimados são simplificados, havendo detalhes que fogem ao escopo deste estudo de caso, tais como: se haverá disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes para o tratamento biológico no MBR terciário, dado que o efluente tratado virá de uma ETE com processo aeróbio; composição iônica da água e exigências detalhadas de padrão de qualidade; possibilidade ou não de traçado da adutora nas vias utilizadas como referência; entre outros. No entanto, o estudo de caso apresentado tem caráter orientativo, tendo como objetivo exemplificar, com um grau superior de detalhe, o potencial de reúso industrial na área, destacando as peculiaridades do SITEL.

5.2 ESTUDO DE CASO #2: ETE LAJEADO

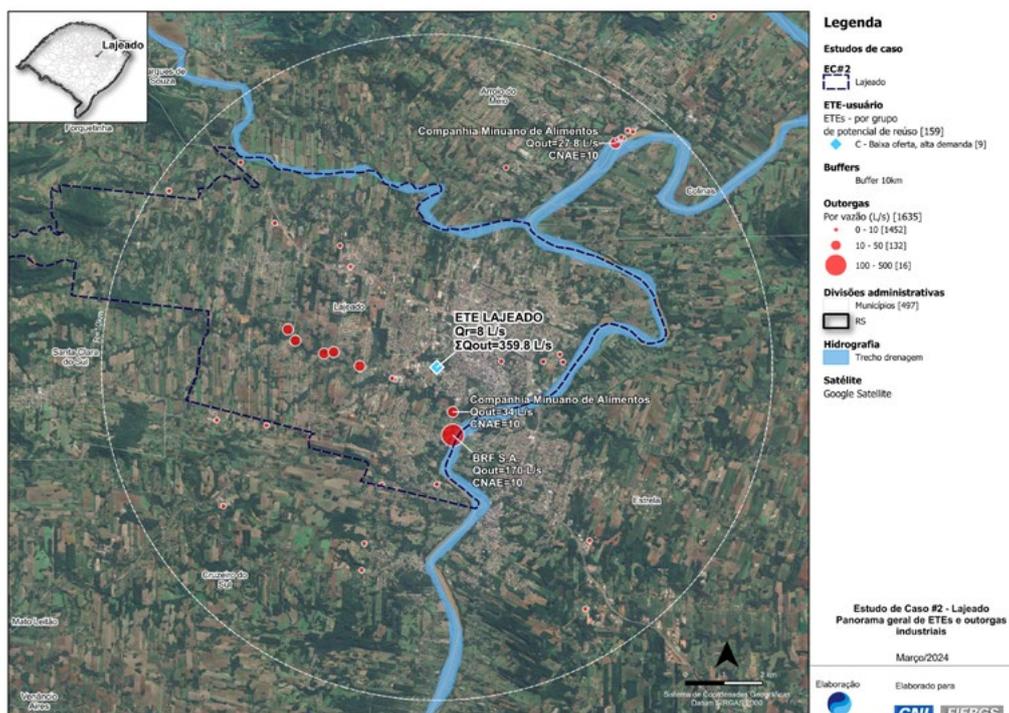
5.2.1 CONTEXTO

O Estudo de caso #2 (EC2) escolhido foi o de Lajeado. O município, ainda que de porte pequeno (prox.. 86 mil habitantes), possui uma conjunção de fatores interessantes ao reúso. Os principais pontos constam a seguir.

- **Tratamento de esgotos:** O índice de tratamento de esgotos do município é de 0,62%, ou seja, inferior a 1%. Dos 154,3 L/s de esgotos sanitários gerados, apenas 0,8 L/s são tratados, gerando um déficit de tratamento de 153,4 L/s. A cidade conta com apenas uma ETE, a ETE Lajeado, com capacidade de tratamento de 8,0 L/s e processo de filtro biológico percolador (FBP). Segundo o SNIS de 2021 (MDR, 2022) apenas 1,0 L/s de esgoto é coletado, resultando em subutilização da ETE. No entanto, mesmo que a ETE tratasse os 8 L/s de projeto, o índice de tratamento de Lajeado continuaria muito reduzido, passando de <1% para aprox. 5% (*vide Mapa 30*).
- **Demandas industriais:** A cidade possui quantidade muito relevante de outorgas industriais, as quais somam vazão total 289 L/s. O segmento predominante é de produtos alimentícios (especialmente para a empresa BRF), seguido por produção de bebidas.
- **Balço hídrico quali quantitativo:** Uma porção relevante do município está em bacia cujo balanço é considerado com criticidade quali quantitativa (*vide Mapa 30*).
- **Potencial de reúso:** A ETE Lajeado está localizada próxima a diversas outorgas industriais de vazão relevantes, basicamente da BRF e Minuano, ambas do segmento de produção de alimentos (*vide Mapa 29*).

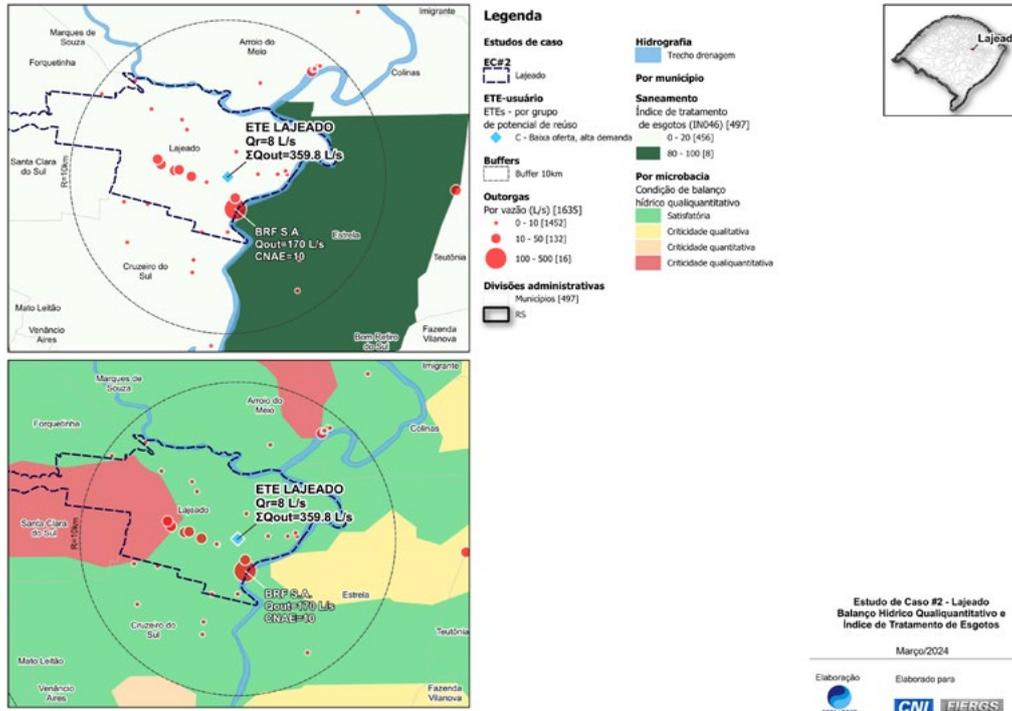
O Mapa 29 e o Mapa 30 apresentam o panorama geral de Lajeado e as situações de balanço quali quantitativo e de tratamento de esgotos.

MAPA 29 – Estudo de caso #2 – Lajeado – panorama geral de ETes e outorgas industriais



Fonte: elaborado pelos autores.

MAPA 30 – Estudo de caso #2 – Lajeado – balanço hídrico e índice de tratamento de esgotos



Fonte: elaborado pelos autores. Fontes de dados: MDR (2022) e ANA (2024c).

5.2.2 PROJETO ESQUEMÁTICO

Foram definidas as seguintes premissas de projeto esquemático:

- **Tratamento de esgotos:**
 - Atualmente, a necessidade de tratamento em Lajeado é da ordem de 150 L/s, e a ETE Lajeado possui capacidade de 8 L/s. Considerando-se fatores de pico e crescimento no horizonte de projeto, assumiu-se $Q_{proj} = 150 \times 1,5 = 225 \text{ L/s}$. Definiu-se que a ETE Lajeado será ampliada ou que uma nova estação será implantada na mesma área, ou em local muito próximo.
- **Demandas industriais:**
 - Foram consideradas as demandas da BRF, as quais somam 233 L/s (*vide* Tabela 27). As outorgas da BRF estão espalhadas pelo município de Lajeado, e assumiu-se que todas elas abastecem a unidade identificada e mostrada na Figura 8.
 - Em indústrias, nem todas as demandas podem ser atendidas por água não potável. Como referência, assumiu-se que a água de reúso será utilizada para reposição de sistemas de resfriamento. No caso do segmento de produção de alimentos, esse uso representa, em média, 50% do total – valor com base em Fukasawa (2021). Portanto, a demanda não potável (Q_{NP}) de referência utilizada foi de $0,267 \times 0,50 = 134 \text{ L/s}$.

- Há, também, a Minuano Alimentos nas proximidades, a qual possui outorga de 34 L/s. Nesse momento, no entanto, para consideração de caso menos favorável (somente um cliente), definiu-se que somente a BRF, o cliente-âncora. Futuramente é possível a implantação de uma derivação da adutora de água de reúso para atendimento da Minuano.

- **Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR):**

- **Vazão de projeto:** 150 L/s de água de reúso, valor ligeiramente superior à demanda de 134 L/s.

Foram estudados dois arranjos da EPAR:

- **Arranjo 1:** processo MBR (*Membrane Bioreactor*, ou biorreator com membranas) terciário para tratamento dos esgotos, com vazão de projeto de 150 L/s. As perdas por retirada de lodo biológico em excesso foram desprezadas.
- **Arranjo 2:** variante com implantação de OR (Osmose Reversa) após o MBR para produção de água com baixa condutividade elétrica, adequada para atendimento de demandas mais exigentes.

Assumiu-se que 50% do efluente do MBR será submetido à OR, sendo os outros 50% desviados (“by-passados”) e unidos ao permeado da OR ao final do tratamento (*blend*). A taxa de aproveitamento da OR foi definida como igual a 70%, isto é, 70% do afluente se converte em permeado e os 30% restantes em concentrado. Como somente 50% da vazão é submetida à OR, o aproveitamento global do sistema é de 85%.

Para a produção de 150 L/s de água de reúso, são necessários $150/0,85 = 176,5$ L/s de esgoto afluente. Isto é, no Arranjo 2 a vazão total afluente (176,5 L/s) é superior à do Arranjo 1 (150 L/s).

O desvio de uma parcela da vazão do MBR (*by-pass*) se justifica pelo fato de a maior parte da demanda não potável industrial (reposição de água em sistemas de resfriamento) não requer água totalmente desmineralizada. Assim, o desvio de 50% permite, por exemplo, otimização na produção de água de reúso com SDT de 300 mg/L (equivalente a condutividade elétrica de 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a partir de um efluente com SDT de 500 mg/L (800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), o que é compatível com diversos usos industriais.

- **Adução**

- A adutora parte da ETE Lajeado segue até a unidade fabril da BRF. Como mostra a Figura 8, a unidade industrial está relativamente distante das outorgas, e sua localização foi determinada por imagem de satélite. A adutora foi traçada sobre a malha viária e resultou em comprimento $L = 1,49$ km. O ganho de elevação máximo a partir do ponto inicial é de 7 m. A cota do ponto de chegada (BRF, $Z = 37$ m) é mais baixa que o da ETE Lajeado ($Z = 49$ m) (*vide* Figura 8).

- **Reservação**
 - Previsão de reservatório de água de reúso com TRH ~8h para a Q_{proj} , resultando em 1.000 m³.
- **Estimativas de custos**
 - Os custos de Capex e Opex de tratamento, adução e reservação, bem como os cálculos financeiros, foram realizados conforme equações apresentadas no **Anexo D**.

As outorgas industriais consideradas são as descritas na Tabela 27.

TABELA 27 – Estudo de caso #2 – outorgas consideradas no projeto esquemático

Nome do usuário	CNAE 2.0	Manancial	Q_{out} (L/s)	Latitude ^(a)	Longitude ^(a)
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Superficial	170,0	-29,478800	-51,976100
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	10,4	-29,450200	-52,020400
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	12,5	-29,453200	-52,018400
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	11,3	-29,456700	-52,010700
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	10,4	-29,456300	-52,008100
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	13,0	-29,460100	-52,001100
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	4,0	-29,463700	-51,991700
BRF S.A.	10 – Fabricação de produtos alimentícios	Subterrâneo	1,3	-29,463400	-51,992400
Total	-	-	233	-	-

Nota: (a) Datum SIRGAS2000.

Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 8 ilustra a ETE Lajeado, a adutora prevista (1,49 km, DN400) e a planta da BRF, cujas vazão outorgada (Q_{out}) e não potável (Q_{NP}) são mostradas. Vale lembrar que as outorgas da BRF estão espalhadas pelo município de Lajeado, e assumiu-se que todas elas abastecem esta planta.

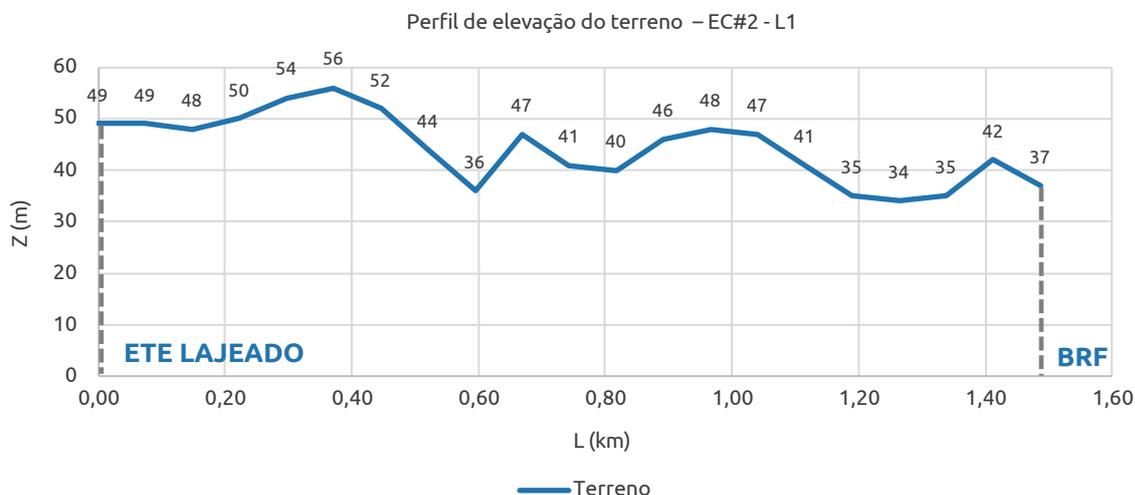
FIGURA 8 – Estudo de caso #2 – arranjo esquemático do sistema de produção e distribuição de água de reúso para abastecimento da BRF em Lajeado



Q_{out} : vazão outorgada. Q_{np} : vazão não potável. Q_r : vazão de referência (ETE). DN: diâmetro nominal (tubulação)
 Fonte: elaborado pelos autores.

O traçado da adutora foi sobreposto ao Modelo de Elevação Digital – MDE (Weber et al., 2004), do estado para obtenção do perfil de elevação, conforme mostra a Figura 9. O ponto de chegada da adutora está 12 metros abaixo da cota da ETE Lajeado.

FIGURA 9 – Estudo de caso #2 – perfil de elevação do terreno



Fonte: elaborado pelos autores. Modelo de elevação proposto por Weber *et al.* (2004).

As variáveis utilizadas para o cálculo dos custos foram as da Tabela 28.

TABELA 28 – Estudo de caso #2 – variáveis de projeto adotadas

Item	Var.	Valor	Descrição	
Capacidade da EPAR	Q_{proj}	150 L/s (176,5 L/s)	Vazão de projeto da EPAR (valor entre parênteses referente ao Arranjo 2)	
Capacidade da OR (somente para Arranjo 2)	Q_{OR}	88,2 L/s	Vazão do sistema de OR, correspondente a 50% da vazão da EPAR	
Demanda a ser abastecida	Q_{NP}	134 L/s	Demanda industrial não potável a ser suprida	
Aduтора L1	Trecho pressurizado	$L_{1,p}$	0,50 km	Comprimento do ponto de saída até o trecho mais alto
		$DN_{1,p}$	400 mm	Diâmetro nominal da tubulação
		$\Delta H_{g,1,p}$	7,0 m	Desnível geométrico máximo
		AMT_p	9,8 m	Altura manométrica total no trecho, incluindo perdas
	Trecho por gravidade	$L_{1,g}$	0,99 km	Comprimento do ponto mais alto até o ponto final
		$DN_{1,g}$	400 mm	Diâmetro nominal da tubulação
Pressão no uso		15,9 m	Pressão disponível no ponto final	
Potência da elevatória	P	20,5 kW	Potência requerida pelo sistema elevatório	
Reservatório	V_1	500 m ³	Volume do reservatório de água de reúso	

Diferentemente do Estudo de Caso #1 (**Item 5.1**), neste caso não há limitação na oferta de efluentes secundários. Assim, a vazão afluyente no caso do Arranjo 2 (176,5 L/s) é superior à do Arranjo 1 (150 L/s), de modo a se compensar as perdas no processo de separação por membranas de OR e entregar os mesmos 150 L/s de água de reúso.

Considerando-se as funções de custos de tratamento, distribuição e reservação (ver **ANEXO D**), o Capex, Opex e custos unitários resultantes, para ambos os arranjos estudados, são conforme mostra a Tabela 29.

TABELA 29 – Estudo de caso #2 – Capex, Opex e custos unitários

Item	Arranjo 1 (MBR)		Arranjo 2 (MBR + OR) ^(a)	
	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)
EPAR	R\$26.818.824	R\$4.297.898	R\$65.488.368	R\$12.086.891
Aduтора	R\$1.967.608	R\$306.801	R\$1.967.608	R\$306.801
Estação elevatória	R\$1.861.744		R\$1.861.744	
Reservatório	R\$792.252	R\$21.794	R\$792.252	R\$21.794
Total	R\$31.440.427	R\$4.626.493	R\$70.109.971	R\$12.415.486
Valor unitário (R\$/m³)^(b)	R\$1,80/m³		R\$4,46/m³(c)	

(a) O Arranjo 2 considera que 50% da vazão do MBR é submetida à OR, com os 50% restantes by-passados e unidos ao permeado a final.

(b) Para VPL= 0, tempo de retorno de 30 anos e taxa de atratividade de 12% aa.

(c) No caso do Arranjo 2, o custo unitário foi calculado em relação à água produzida, igual à 85% do esgoto afluente. Isso resulta em $176,5 \times 0,85 = 150$ L/s.

Fonte: elaborado pelos autores.

Os custos unitários do Arranjo 2 (R\$4,46/m³) são superiores aos do Arranjo 1 (R\$1,80/m³), dado que naquele a água possui qualidade superior. Estudos mais detalhados na área irão indicar como se distribuem os usos de água nos usuários, sendo preferível atender primeiro os usos menos nobres que podem ser supridos por água do Arranjo 1 e, em seguida, exauridos esses usos, verificar quais são aqueles que requerem maior qualidade (Arranjo 2).

A utilização de processo de separação de membranas no Arranjo 2 resulta em inevitáveis perdas na forma de concentrado, reduzindo a vazão de água de reúso efetivamente produzida. Assim, é necessário maior uso de efluentes secundários para a produção de água de reúso, o que resulta também em aumento de custos totais.

Para ambos os casos, os custos de adução, recalque e reservação são os mesmos, dado que independem da qualidade da água. A vazão de água de reúso produzida é a mesma para ambos os arranjos (150 L/s).

Os valores apresentados consideram os custos de implantação e operação dos sistemas, não estando contemplados outros componentes como:

- Impostos aplicáveis sobre a comercialização de água de reúso, como ICMS, PIS/COFINS e ISS;
- Lucro sobre a comercialização da água de reúso;

Custos com a disposição final do concentrado de OR. Assumiu-se que este corrente pode ser lançada no meio juntamente com o esgoto secundário excedente, dado que a carga de sais do concentrado é a mesma que seria lançada no caso do tratamento convencional

para lançamento. Isso, no entanto, deve ser realizado tendo-se atenção às condições de dispersão e mistura no meio aquático.

5.2.3 DISCUSSÃO

O município de Lajeado apresenta uma situação ainda comum não só no Rio Grande do Sul, mas em diversos outros territórios brasileiros: elevado *déficit* de saneamento (índice de tratamento de esgotos menor que 1%), bacias hidrográficas em elevado grau de criticidade hídrica (criticidade qualiquantitativa) e presença de demandas industriais relevantes localizadas próximas à atual ETE. A ETE Lajeado possui capacidade muito reduzida (8 L/s), a qual, ainda, está subutilizada em razão do baixo índice de coleta de esgotos.

A implantação de uma nova ETE (ou ampliação da atual) é indispensável para a atendimento à legislação e universalização do saneamento, o que irá levar à necessidade de uma ETE com vazão estimada de 225 L/s, a qual pode ou não adotar o mesmo processo da atual ETE Lajeado (FBP). Esse processo, no entanto, não é suficiente para produção de água de reúso com qualidade compatível com usos industriais.

A EPAR prevista possui capacidade de 150 L/s de água de reúso produzida, suficiente para abastecimento dos 134 L/s de vazão não potável estimados para a BRF.

O custo unitário estimado foi de R\$1,80/m³ para o Arranjo 1 (somente MBR) e R\$4,46/m³ para o Arranjo 2, considerando o tratamento, a adução e a reservação de água de reúso. No Arranjo 1, o MBR é suficiente para remoção eficiente de matéria orgânica, sólidos suspensos e agentes patogênicos, entregando água com qualidade suficiente para atendimento a usos que não requeiram controle de salinidade. A água do Arranjo 2 passa por remoção de íons por OR, havendo desvio de parte do efluente do MBR e mistura com o permeado da OR, resultando em água de reúso com concentrações reduzidas de sólidos dissolvidos totais e compatível com usos como reposição de sistemas de resfriamento.

O arranjo esquemático e os custos estimados são simplificados, havendo detalhes que fogem ao escopo deste estudo de caso, tais como: se haverá disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes para o tratamento biológico no MBR terciário, dado que o efluente tratado virá de uma ETE com processo aeróbio; composição iônica da água e exigências detalhadas de padrão de qualidade; possibilidade ou não de traçado da adutora nas vias utilizadas como referência; entre outros. No entanto, o estudo de caso apresentado tem caráter orientativo, tendo como objetivo exemplificar, com um grau superior de detalhe, o potencial de reúso industrial no município de Lajeado.



6 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este estudo abordou o potencial de reúso industrial não potável no Estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de compreender onde estão e quais são as oportunidades de reúso de água a partir de efluentes sanitários tratados. Isso foi realizado com o uso de dois métodos que possuem abordagens diferentes, mas complementares, que buscam mapear e compreender as oportunidades de reúso para a indústria.

O primeiro é o **Método ETE-usuário**, que realiza avaliações individuais de cada ETE (estação de tratamento de esgotos) em relação aos usuários industriais próximos. O segundo é o **Índice de Aptidão de Reúso (IAR)**, o qual avalia todo o território do Estado do Rio Grande do Sul e indica quais são as áreas que possuem maior potencial de reúso.

No **Item 2 – METODOLOGIA**, os métodos são devidamente explicados, bem como são também apresentados os procedimentos de processamento de dados necessários, as bases de dados utilizadas e a estrutura geral do trabalho.

O **Item 3 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO** apresenta as informações e os mapas sobre os principais temas relevantes, como demandas industriais, tratamento de esgotos, condição de balanço hídrico, características da indústria e legislação sobre reúso no estado. Essa caracterização teve como objetivo apresentar e analisar os principais fatores importantes ao tema de reúso, preparando o leitor para a compreensão dos resultados.

No **Item 4 – RESULTADOS**, os resultados estão divididos conforme os dois métodos utilizados empregados.

O **Item 4.1 – Oportunidades de reúso por ETE-usuário** apresenta os resultados da análise por ETE. Foram avaliadas 159 ETEs, levando-se em conta as características das próprias estações (vazões de projeto, tipo de tratamento, localização) e as das demandas industriais próximas (vazão outorgada, segmento de atividade, localização).

As ETEs foram classificadas conforme grupos de prioridade, sendo:

- **Grupo A:** ETEs com alta capacidade e altas demandas industriais nas proximidades.
- **Grupo B:** ETEs com alta capacidade, mas baixas demandas industriais nas proximidades.
- **Grupo C:** ETEs com baixa capacidade, mas altas demandas industriais nas proximidades.
- **Grupo D:** ETEs com baixa capacidade, e baixas demandas industriais nas proximidades.

As ETEs do grupo A apresentam maior potencial de reúso, enquanto as do grupo D possuem o menor potencial. Os grupos B e C são intermediários e apresentam potenciais de reúso de naturezas diferentes.

A Tabela 30 sintetiza os resultados obtidos pelo método ETE-usuário, conforme os grupos mencionados.

TABELA 30 – Síntese dos resultados – Modelo ETE-usuário

Grupo	ETEs
Grupo A Alta oferta, alta demanda	Apenas 1 ETE. No Grupo A estão as ETEs com maior potencial de reúso, contando com apenas uma estação: SITEL em Triunfo ($Q_R = 208$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 1978$ L/s).
Grupo B Alta oferta, baixa demanda	Constam 11 ETEs , como a ETE Serraria em Porto Alegre ($Q_R = 2710$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 0,9$ L/s), ETE Alegrete em Alegrete ($Q_R = 466,5$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 11,2$ L/s) e ETE Navegantes em Porto Alegre ($Q_R = 444$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 34,3$ L/s). Estas estações, por suas altas vazões, possuem potencial de abastecerem futuras demandas industriais próximas, o que pode ser levado em consideração no planejamento de implantação de áreas industriais.
Grupo C Baixa oferta, alta demanda	Constam 9 ETEs , como a ETE Vicentina em São Leopoldo ($Q_R = 64,2$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 1.366$ L/s), ETE Lajeado em Lajeado ($Q_R = 8,0$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 359,8$ L/s) e ETE Moradas de Esteio em Esteio ($Q_R = 4,8$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 1399,8$ L/s). Essas ETEs possuem baixa capacidade, mas estão próximas a usuários industriais hidrintensivos. Dado o baixo índice de tratamento de esgotos do Rio Grande do Sul, a maior parte dessas ETEs está em municípios com atendimentos inferiores a 10% de tratamento, havendo necessidade inquestionável de expansões ou implantação de novas ETEs nessas cidades.
Grupo D Baixa oferta, baixa demanda	No Grupo D , estão as 138 demais ETEs, as quais, por não apresentarem nem capacidades nem demandas de esgotos relevantes, não foram consideradas prioritárias, o que se refere ao potencial de reúso industrial.

Obs.: Q_R : vazão de referência da ETE. ΣQ_{out} : somatório das outorgas industriais num raio de 10 km em torno da ETE.

Fonte: elaborado pelos autores.

O agrupamento proposto e aplicado teve como objetivo posicionar as ETEs em relação a seu potencial de reúso, não só identificando quais são as ETEs que possuem maior potencial de reúso, mas também qualificando o tipo de potencial. ETEs do grupo B, por exemplo, são aquelas que possuem potencial por serem potenciais fornecedoras de efluentes para a produção de água de reúso. De outra forma, o potencial de reúso das ETEs do grupo C reside na existência atual de usuários industriais nas proximidades, ainda que essas estações possuam baixa capacidade.

Essa análise fornece subsídio importante para futuros estudos de planejamento municipais, regionais ou estaduais. As ETEs dos grupos A, B e C (21 ETEs somando os três grupos) podem ser observadas com maior atenção no que se refere à expansão e/ou melhoria das estações atuais, construção de novas ETEs e na atração direcionada de usuários industriais hidrintensivos para áreas onde há maior potencial de geração de água de reúso. Isso gera potencial de impacto positivo na despressurização de mananciais (superficiais ou subterrâneos) e incremento da segurança hídricas, principalmente em bacias hidricamente estressadas.

No **Item 4.2 – Oportunidades de reúso pelo Índice de Aptidão de Reúso (IAR)**, são apresentados os resultados de IAR para todo o território do Rio Grande do Sul

Diferentemente do ETE-usuário, o IAR é obtido pela sobreposição de dados espaciais, como geração de efluentes, demandas industriais, balanço hídrico e VAB industrial. A sobreposição resulta num valor de IAR (entre 0 e 1,0) para cada área analisada (resolução de 50x50m), que é calculado a partir de um Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD) baseado no *Analytic Hierarchy Process (AHP)*.

Os valores de IAR foram classificados de acordo com faixas, sendo: “Muito baixo” (IAR < 0,05), “Baixo” (0,05 < IAR < 0,10), “Médio” (0,10 < IAR < 0,25), “Alto” (0,25 < IAR < 0,50) e “Muito alto” (IAR > 0,50). Os resultados mostraram que a maior parte do território do Rio Grande do Sul possui IAR “Muito baixo” ou “Baixo” (70,69%). IAR “Médio” representa 27,08%, “Alto” (1,13%) e “Muito alto” (1,10%).

Foram selecionados nove Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes) para detalhamento dos resultados de IAR, sendo eles: **2** (Campanha), **3** (Central), **4** (Centro sul), **15** (Produção), **16** (Serra), **17** (Sul), **19** (Vale do Rio do Sinos), **20** (Vale do Rio do Pardo) e **22** (Metropolitano Delta do Jacuí). Esses Coredes detêm, em geral, os maiores valores de IAR, mas possuem características distintas.

A Tabela 31 apresenta a síntese da análise dos Coredes.

TABELA 31 – Síntese dos resultados –IAR

COREDE	Situação
2 – Campanha	<ul style="list-style-type: none"> • Condição de IAR média em comparação aos demais, mas a presença de Candiota, e em menor escala Bagé, torna a área atraente. Candiota é um dos municípios com maior VAB industrial e com maior tendência de crescimento na última década de todo o estado. • A população do município é, ainda, pequena, e é possível pensar em arranjos de abastecimento das demandas industriais com água de reúso a partir dos efluentes de Bagé. • O sul do RS apresenta condições de balanço hídrico muito mais desfavoráveis que o norte, e o COREDE 2 é fortemente afetado por isso. • Os índices de tratamento de esgotos na região são geralmente inferiores a 20% (exceto Bagé, com 21,2%), o que indica a expansão futura das vazões de esgoto tratado disponíveis para produção de água de reúso, o que poderia abastecer a crescente indústria de Candiota.
3 – Central	<ul style="list-style-type: none"> • Condição média de IAR. Santa Maria possui condições de maior relevância. A cidade possui VAB industrial e produção de esgotos razoáveis, bem como está em bacias hidrográficas com alto grau de estresse hídrico. • As demandas industriais não são relevantes, mas há presença de algumas outorgas de relevância. • O COREDE 3 está em área suscetível a escassez hídrica, sendo sua porção sul, onde está localizada Santa Maria, a mais severamente atingida. Por ser a 7ª cidade mais populosa do estado, a geração de esgotos é expressiva em Santa Maria, mas os demais municípios não apresentam características especialmente favoráveis ao reúso.

COREDE	Situação
4 – Centro sul	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta fatores moderados em termos do IAR, basicamente em razão de Camaquã. O município possui demandas industriais relevantes, devidas quase que exclusivamente a um único usuário do segmento de alimentos. • O COREDE 4 está em área com criticidade hídrica importante, com a maior parte do território em escassez quantitativa ou quali quantitativa.
15 – Produção	<ul style="list-style-type: none"> • Demandas industriais e geração de esgoto razoáveis, com destaque a Passo Fundo. O balanço hídrico é relativamente confortável, exceto em Passo Fundo e algumas áreas em Marau, Camargo e Carazinho. • O COREDE 15 destaca-se em termos de VAB industrial. Passo Fundo é o principal município da região em termos de VAB industrial absoluto, mas há uma tendência notável de crescimento do VAB industrial na última década em outras cidades, com destaque a Camargo (o município com o maior crescimento de VAB industrial do estado), Santo Antônio do Planalto, Almirante Tamandaré do Sul e Casca. Isso indica incremento da atividade industrial na região, o que poderá levar a aumentos expressivos nas demandas de água nos próximos anos.
16 – Serra	<ul style="list-style-type: none"> • Ainda que detenha VAB industrial elevado (Caxias do Sul possui o maior VAB industrial do estado), as demandas industriais de água não são especialmente altas. • A presença de municípios populosos, principalmente Caxias do Sul e Bento Gonçalves, confere alta geração de esgotos à área. O balanço hídrico na área é razoável, apresentando condições satisfatórias em diversas microbacias, mesmo que seja uma aglomeração urbana. Ainda assim, há criticidade hídrica em bacias de Farroupilha e Caxias do Sul. • O COREDE 16 apresenta já possui um ecossistema industrial complexo, mas não se verifica a presença de indústrias hidroativas. O IAR possui valores mais elevados nas áreas urbanizadas de Caxias do Sul e, em menor proporção, Flores da Cunha e São Marcos. Nota-se certa desconcentração do VAB industrial na última década dentro do próprio COREDE, com estagnação do crescimento em Caxias do Sul e aumento expressivos em cidades mais periféricas, como Fagundes Varela e Antônio Prado.
17 – Sul	<ul style="list-style-type: none"> • O VAB industrial é alto e há crescimento muito expressivo do VAB industrial em diversos municípios, como São José do Norte, Chuí, Pedras Altas, Santa Vitória do Palmar e Piratini. • Há demandas industriais relevantes no COREDE, principalmente em Rio Grande, Pelotas e Capão do Leão. • A geração de efluentes é alta, especialmente em Pelotas e Rio Grande. O balanço hídrico é bastante crítico nas áreas urbanas de Rio Grande e Pelotas, e a maior parte do território está sob estresse hídrico quantitativo.
19 – Vale do Rio do Sinos	<ul style="list-style-type: none"> • Ainda que detenha VAB industrial elevado, as demandas industriais de água não são especialmente altas, em razão da característica de uso de água dos segmentos mais comuns. A exceção é o município de Esteio, onde há demandas relevantes. • A geração de esgotos é elevada, principalmente em Esteio e Canoas. • O balanço hídrico é bastante crítico em praticamente todo o território. Com exceção de Canoas, o VAB industrial na última década sofreu reduções, estagnação ou crescimento moderados para os demais municípios do COREDE.
20 – Vale do Rio Pardo	<ul style="list-style-type: none"> • O VAB industrial e a geração de esgotos são medianos. A demanda de água pela indústria, no entanto, apresenta expressividade no município de Candelária, essencialmente por um único usuário do segmento de fabricação de produtos de minerais não metálicos. • Parte relevante do COREDE está sob estresse hídrico quantitativo ou quali quantitativo. • O IAR possui valores mais altos em áreas dos municípios de Candelária e Santa Cruz do Sul.

COREDE	Situação
22 – Metropolitano Delta do Jacuí	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta fatores muito favoráveis ao reúso, por conta tanto de elevado VAB industrial, altas demandas industriais (principalmente em Triunfo), a maior geração de esgotos do estado (Porto Alegre) e condição muito crítica de balanço hídrico. • Ainda que haja um número expressivo de usuários industriais, a maioria das demandas de água está concentrada no Polo Petroquímico de Triunfo. Há também demandas expressivas da Santher em Guaíba, mas, na capital POA, não há demandas expressivas de água para a indústria, justamente onde estão as maiores geração e tratamento de esgotos do estado. • Ainda que o VAB industrial seja elevado, notou-se retração do VAB da indústria na última década em importantes cidades, como Porto Alegre e Gravataí. Para as demais, observou-se estagnação ou crescimento somente moderado.

Em alguns Coredes, como o 2 (Campanha), o 15 (Produção) e o 17 (Sul), há tendência de crescimento da atividade industrial na última década, o que indica potencial de aumento das demandas de água. O COREDE 17, por exemplo, possui demandas industriais elevadas e está em áreas de criticidade hídrica. Alguns Coredes – como o 22 (Metropolitano Delta do Jacuí), 19 (Vale do Rio do Sinos) e 16 (Serra) – possuem altos valores da VAB industrial, mas mostraram retração, estagnação ou crescimento modesto na última década.

Outro fator relevante é a condição de balanço hídrico quali-quantitativo. Os Coredes localizados na porção norte do estado estão em situação mais confortável, ainda que haja bacias com elevada criticidade nos Coredes 15 (Produção) e 16 (Serra). No entanto, a situação é mais crítica nos Coredes nas áreas metropolitanas e na Serra Gaúcha, como o 19 (Vale do Rio do Sinos), 22 (Metropolitano Delta do Jacuí), 20 (Vale do Rio Pardo), 2 (Campanha) e 17 (Sul).

A avaliação do IAR tem caráter territorial mais abrangente, cumprindo o propósito de avaliar não somente o quadro atual, mas também tendências de adensamento industrial. Essa ferramenta, bem como os resultados obtidos, pode ser empregada em estratégias de planejamento territorial, ambiental e econômico, podendo, inclusive, ser incorporada em instrumentos como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) e similares.

Por fim, os resultados apresentados neste estudo, bem como os próprios métodos em si, resultam em importante material para o planejamento do reúso industrial no Brasil. Os métodos empregados permitem a visualização da situação atual das ETEs em atividade (modelo ETE-usuário), bem como visão mais ampla e genérica do território (IAR). O objetivo foi destacar e caracterizar quais são as oportunidades de reúso a partir das informações disponíveis, auxiliando os tomadores de decisão na escolha de onde deverão ser realizados estudos mais aprofundados e, futuramente, onde serão aplicados os investimentos em reúso.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de outorgas emitidas**. 2024a. Disponível em: [Outorgas emitidas — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico \(ANA\) \(www.gov.br\)](http://www.gov.br). Acesso em: 02 fev. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos**. 2024b. Disponível em: [Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas \(snirh.gov.br\)](http://snirh.gov.br). Acesso em: 02 fev. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Balanço hídrico quali-quantitativo**. 2024c. Disponível em [Balanço Hídrico Quali-Quantitativo \(snirh.gov.br\)](http://snirh.gov.br). Acesso em: 02 fev. 2024.

CORSAN - COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. Arquivos cedidos diretamente para elaboração deste estudo. 2023.

CORSAN - COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Sistema integrado de tratamento de efluentes líquidos do polo petroquímico**. 2024. Disponível em: <https://www.corsan.com.br/sitel3>. Acesso em: 23 jan. 2024.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Reúso de efluentes para abastecimento industrial**: avaliação da oferta e da demanda no estado do Maranhão. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2020.

DMAE POA - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DE PORTO ALEGRE. Arquivos cedidos diretamente para elaboração deste estudo. 2023.

FUKASAWA, Bruno Nogueira. **Proposta de modelos de suporte à decisão no planejamento de reúso de água**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. doi:10.11606/D.3.2021.tde-27032021-114711. Acesso em: 05 mar. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População**: Rio Grande do Sul 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso em: 25 nov. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto interno bruto dos municípios. 2023. Disponível em: Produto Interno Bruto dos Municípios | IBGE. Acesso em: 29 nov. 2023.

IEDE - INFRAESTRUTURA ESTADUAL DE DADOS ESPACIAIS DO RIO GRANDE DO SUL. **Geoportal**. Disponível em: <https://iede.rs.gov.br/geoportal/#searchPanel>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MDR - MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Brasília: MCIDADES/ SNSA, 2022. Disponível em: [SNIS - Série Histórica \(mdr.gov.br\)](#). Acesso em: 29 nov. 2023. (SNIS – série histórica: ano base 2021).

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SAMAE CAXIAS DO SUL - SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE CAXIAS DO SUL. Bases de dados de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) operadas pela empresa. Arquivos cedidos diretamente para elaboração deste estudo. 2023.

SEMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Bases de dados de outorgas da captação industriais ativas. Arquivos cedidos diretamente para elaboração deste estudo. 2023.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia, 2004. Disponível em <http://www.ufrgs.br/labgeo>. ISBN 978-85-63843-02-9.



ANEXO A – MODELO DO ÍNDICE DE APTIDÃO DE REÚSO (IAR) – ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste tópico, constam informações adicionais sobre o desenvolvimento do modelo de Índice de Aptidão de Reúso (IAR). O modelo é baseado no *Analytic Hierarchy Process* (AHP), e aspectos muito específicos, como detalhes dos métodos de análise de consistência e derivação de prioridades, não serão extensivamente explorados, sendo possível a consulta a bibliografias complementares, como Saaty (2008).

Definidos os critérios que compõem o modelo (C1 a C4), cada um deles é comparado aos pares em relação aos demais (comparação paritária) a partir de um número inteiro que varia de 1 a 9, conforme as importâncias da Tabela 1.

TABELA 1 – Intensidade de importância na comparação paritária

Intensidade	Importância	Descrição
1	Igual	Ambas as atividades contribuem igualmente para o objetivo.
2	<i>Fraca</i>	–
3	Moderada	Experiência e julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
4	<i>Moderada +</i>	–
5	Forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
6	<i>Forte +</i>	–
7	Muito forte; importância demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominância é demonstrada pela experiência prática.
8	<i>Muito forte +</i>	–
9	Importância absoluta	A evidência de favorecimento de uma atividade sobre a outra possui o grau mais alto de afirmação possível.

Fonte: adaptada de Saaty (2008)

Ou seja, caso se julgue que um critério possui importância “forte” em relação a outro, atribui-se valor igual a 5 na comparação paritária do primeiro em relação ao segundo, e assim analogamente para outras intensidades.

As importâncias paritárias atribuídas pelos autores para os critérios e subcritérios são as apresentadas na Tabela 2 (critérios) e na Tabela 3 (subcritérios).

TABELA 2 – Matriz de importâncias paritárias – Nível 1 – Critérios

Critério	C1	C2	C3	C4
C1	1	1/2	2	2
C2	2	1	2	2
C3	1/2	1/2	1	3
C4	1/2	1/2	1/3	1

Fonte: elaborada pelos autores.

TABELA 3 – Matriz de importâncias paritárias – Nível 2 – Subcritérios

Subcritério	C1.1	C1.2
C1.1	1	3
C1.2	1/3	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os elementos abaixo da diagonal (laranja) apenas refletem os acima da diagonal (amarelo), o que significa dizer que, se C1 tem importância 2 sobre C3, C3 possui 1/2 de importância sobre C1. A diagonal principal, evidentemente, terá sempre valores iguais a 1.

O AHP prevê alguns passos intermediários como o cálculo da Razão de Consistência (RC), variável que avalia a consistência interna dos pesos atribuídos na comparação paritária. Esse valor deve ser menor ou igual a 0,10, conforme o método prevê.

A RC é calculada por meio do Índice de Consistência (IC) e dos Índices Randômicos (IR), outras variáveis previstas no método. As verificações são feitas por meio de determinação de autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) da matriz de prioridades para cálculo do IC e, em seguida, pela utilização do IR para obtenção da RC. Para este caso, a RC da matriz é igual a 0,0806, abaixo do limite de 0,10 permitido pelo método, demonstrando que a atribuição paritária entre os critérios é suficientemente consistente.

Das importâncias paritárias são obtidas as importâncias finais (ou pesos) de cada critério. O procedimento de obtenção de importâncias finais a partir das paritárias é denominado derivação de prioridades, e há diversas maneiras de realizá-lo. Neste estudo, utilizou-se o método da média dos valores normalizados.

Por fim, os pesos finais de cada critério, bem como o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) e a Razão de Consistência (RC) da matriz, são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 – Pesos finais – Nível 1 – Critérios

Critério	Peso (P)	Ranking
C1	0,269	2°
C2	0,381	1°
C3	0,222	3°
C4	0,128	4°
Total	1,000	–

$\lambda_{\max} = 4,2152$
 Ordem da matriz: 4
 RC= 0,0806 < 0,10 – OK
 Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 5 – Pesos finais – Nível 2 – Subcritérios

Critério	Peso (P)	Ranking
C1.1	0,750	1°
C1.2	0,250	2°
Total	1,000	–

$\lambda_{\max} = 2,000$
 Ordem da matriz: 2
 RC= 0,000 < 0,10 – OK
 Fonte: elaborado pelos autores.

O somatório dos pesos de todos os critérios é igual a um, ou seja, cada um representa uma porcentagem de importância na obtenção do objetivo final do modelo (cálculo do IAR nesse caso).

Como já explicado, os valores de cada critério necessitam de normalização antes de sua utilização. Os critérios quantitativos (C2 e C3) foram normalizados por transformação linear e os qualitativos (C1 e C4), por regras de normalização discretas específicas. A Tabela 37 apresenta a normalização aplicada a cada critério, bem como os gráficos com o valor absoluto (eixo x) e o normalizado (eixo y).

TABELA 6 – Normalização dos valores dos critérios – Nível 1

Sigla	Função/ regra de normalização
C1 VAB industrial	$x_{\text{norm}} = \frac{x - x_{\text{mín}}}{x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}}$ <p>Convergência ao máximo. Maiores valores de VAB industrial resultam em maior valor de C1</p>
C2 Demandas industriais (L/s)	$x_{\text{norm}} = \frac{x - x_{\text{mín}}}{x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}}$ <p>Convergência ao máximo. Maiores valores de demandas industriais resultam em maior valor de C2</p>

Sigla	Função/ regra de normalização
C3 Geração de esgotos (L/s)	$X_{norm} = \frac{X - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}}$ <p>Convergência ao máximo. Maiores valores de demandas industriais resultam em maior valor de C2</p>
C4 Balanço hídrico qualiquantitativo	<p>Criticidade qualiquantitativa= 1,0 Criticidade quantitativa= 0,667 Criticidade qualitativa= 0,333 Condição satisfatória= 0 Maior criticidade de balanço hídrico conduz a maiores valores de C4</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 7 – Normalização dos valores dos subcritérios – Nível 2

Sigla	Função/ regra de normalização
C1.1 VAB industrial	$X_{norm} = \frac{X - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}}$ <p>Convergência ao máximo. Maiores valores de VAB industrial resultam em maior valor de C1</p>
C1.2 Variação porcentual anual média de VAB nos últimos 10 anos	$X_{norm} = \frac{X - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}}$ <p>Convergência ao máximo. Maiores valores de demandas industriais resultam em maior valor de C2</p>

Fonte: elaborado pelos autores.

ANEXO B – INFORMAÇÕES ADICIONAIS SOBRE PROCESSAMENTO DE DADOS

B.1. Outorgas estaduais – SEMA

A SEMA forneceu 27 arquivos de base de dados, os quais somavam 155.308 registros. Algumas características das bases de dados dificultam sua utilização, principalmente pela falta de clareza sobre o significado de determinados valores ou pelo excesso de valores diferentes para um mesmo campo.

Um exemplo é o de Finalidade de Uso, em que constam 1.633 valores diferentes. Isso porque as bases de dados da SEMA possuem a peculiaridade de inserir múltiplas finalidades de uso para um mesmo registro de finalidade, criando “combinações” de finalidades, como em “Abastecimento Industrial, Dessedentação Animal, Lavagem de Veículos”.

Assumiu-se que o primeiro termo do valor de finalidade de uso é o preponderante. Isto é, caso conste como finalidade de uso o supracitado “Abastecimento Industrial, Dessedentação Animal, Lavagem de Veículos”, assumiu-se que o principal uso é o de abastecimento industrial. Segundo a própria SEMA, essa abordagem não é totalmente precisa, dado que não é possível determinar o uso preponderante caso haja mais de um listado, uma vez que os termos são organizados em ordem alfabética. No entanto, também não há como identificar qual é a finalidade preponderante, sendo necessário adotar algum critério que permita incluir ou não determinado registro no agrupamento mais amplo.

Vale ressaltar, entretanto, que a maior parte dos registros e das vazões concedidas possuem finalidades de uso em que o valor é composto somente por um termo, como somente “Abastecimento industrial” ou somente “Mineração”. Isso significa que, ainda que haja limitações do método de agrupamento empregado, a maioria dos valores de finalidade não sofrerá interferências.

A Tabela 1 mostra os cadastros cuja exclusão foi recomendada pela SEMA por apresentarem vazões claramente incompatíveis com a realidade. Apenas dois deles são para finalidade industrial.

TABELA 1 – Outorgas de captação – filtros aplicados – cadastros cuja exclusão foi recomendada pela SEMA

Cadastro	Cadastro retirado	Nome	Vazão (m³/s)	Finalidade
2022/001.044	S	022.772.050-44	63,57	Outros
2022/013.303	S	258.998.720-04	41	Outros
2022/002.409	S	575.689.100-59	35	Outros
2020/016.241	S	022.119.900-45	33	Outros
2022/015.065	S	458.872.170-49	33	Outros
2021/002.321	S	995.621.540-68	15	Outros
2021/005.831	S	14.151.695/0001-17	4	Outros
2022/001.531	S	38.114.800/0001-06	3,5	Outros
2020/022.359	S	00.472.805/0015-33	0,9	Outros
2022/011.748	S	92.802.784/0001-90	2	Outros
2020/022.370	S	00.472.805/0015-33	0,9	Outros
2022/021.282	S	192.457.260-53	1,63	Outros
2019/023.529	S	138.028.600-04	28	Outros
2016/005.617	S	376.435.760-68	0	Outros
2017/001.657	S	271.071.080-34	2,954	Outros
2016/007.232	S	007.926.590-15	720	Outros
2016/011.026	S	182.283.990-49	518,52	Outros
2020/012.438	S	474.477.960-34	0	Outros
2021/018.366	S	461.693.770-20	52	Outros
2017/027.635	S	10.325.219/0001-14	12,14416667	Outros
2021/016.984	S	472.407.760-34	7,6	Outros
2021/020.322	S	246.875.450-68	6	Outros
2020/024.632	S	92.660.893/0001-10	5,1	Indústria
2022/006.697	S	94.813.102/0017-37	4,72	Indústria

Fonte: adaptado de SEMA (2023)

Adicionalmente, o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da Universidade de São Paulo (CIRRA-USP) elencou outros registros com características passíveis de questionamento. Esses registros foram analisados pela SEMA e alguns deles alterados, como apresenta a Tabela 2.

TABELA 2 – Outorgas de captação – filtros aplicados – cadastros cujas informações foram complementadas e alteradas pela SEMA

Tipo	Cadastro	Vazão (m³/s) original	Vazão (m³/s) corrigida	Observações SEMA
Indústria (mineração)	2022/006.202	23,440	0,0197	Aguardando alterações de dados inconsistentes. Novo cadastro emitido em 27/07/2023, com vazão de 71 m³/h (0,019722 m³/s).
Indústria (mineração)	2021/014.848	0,363	0,363	Portaria nº 004.412/2022 concedida, com a seguinte observação: aproximadamente 90% da água bombeada deverá retornar para o rio e 10% será agregada à areia.
Indústria (mineração)	2021/014.840	0,363	0,363	Portaria nº 004.413/2022 concedida, com a seguinte observação: aproximadamente 90% da água bombeada deverá retornar para o rio e 10% será agregada à areia.
Indústria (mineração)	2021/003.878	0,363	0,363	Portaria nº 004.414/2022 concedida, com a seguinte observação: aproximadamente 90% da água bombeada deverá retornar para o rio e 10% será agregada à areia.
Indústria	2017/039.920	8,700	8,700	Portaria nº O-000.354/2019 concedida.
Indústria	2018/016.682	2,000	1,000	Aguardando análise. Novo cadastro emitido em 20/09/2023, com vazão de 1 m³/s.
Indústria	2020/004.973	1,750	1,750	Outorga O-001.794/2020 concedida.
Indústria	2022/008.438	1,389	3,000	Portaria de dispensa de outorga nº 003.511/2023 concedida em 12/07/2023, com vazão de 3 m³/h.
Indústria	2017/017.350	1,000	1,000	Não foi possível realizar <i>download</i> do cadastro, mas foi consultado o processo (que ainda aguarda início da análise técnica) e a vazão é de 1 m³/s em janeiro/24.
Indústria	2020/019.954	0,850	0,850	Portaria nº 002.547/2022 concedida.
Indústria	2021/019.261	0,319	0,319	Aguardando alterações de dados inconsistentes. Não houve emissão de novo cadastro.
Indústria	2020/010.809	0,243	0,243	Aguardando alterações de dados inconsistentes.

Fonte: adaptado de SEMA (2023)

Uma outorga com a vazão de 8.700 L/s, concedida à empresa Ecovix, foi retirada dos registros. Segundo contato posterior com a SEMA, o uso de água ocorre de forma muito esporádica, somente com a finalidade de enchimento de tanques dois dias ao ano. Isto é, não é representativo ao longo do ano. Caso tivesse mantido o valor, a vazão total outorgada no estado teria acréscimo de 44%.

B.1. Outorgas federais – ANA

A base de dados de outorgas federais não exigiu aplicação de muitos filtros, dado que é bastante direta e bem estruturada. Os filtros aplicados foram os apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Outorgas federais – filtros e adaptações nas bases de dados

Campo	Filtro
UF	• RS
Finalidade_Principal	• Indústria • Mineração – Extração de areia/cascalho em leito de rio • Termoelétrica
Tipo_Interferência	• Captação
Data_de_vencimento	• Ano de vencimento >= 2023

Fonte: elaborado pelos autores.

Resultaram apenas cinco outorgas vigentes, as quais soma 1.956 L/s e são, em sua maioria, para uso em termelétricas, como mostra a Tabela 4.

TABELA 4 – Outorgas federais – por município e finalidade de uso

Município	Qout (L/s)	Qtde. registros
Rio Grande	926,1	2
Candiota	527,8	1
Pedras Altas	446,9	1
Barracão	54,8	1
Total	1.955,6	5

Fonte: elaborado pelos autores.

ANEXO C – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Este estudo fez uso extensivo de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em diversos procedimentos, principalmente:

- Saneamento das bases de dados: verificação de registros inconsistentes e/ou duplicados, como, por exemplo, explicado no **Item 2.5.2.1**.
- Análises espaciais para detecção de oportunidades de reúso pelo método ETE-usuário: criação de *buffers* R=10 km em torno das ETEs e cômputo e caracterização das outorgas circunscritas aos *buffers*.
- Cálculo do IAR: rasterização de camadas vetoriais e uso de calculadora de *raster* para obtenção do IAR em *raster*. Vetorização do *raster* resultante para avaliação dos resultados.
- Parâmetros:
 - **Software utilizado:** QGIS 3.34.3-Prizren
 - **Datum:** SIRGAS2000, EPSG:4674

A. ANÁLISES VETORIAIS

Em razão da extensão da área de estudo (estado do RS), não convém a utilização de coordenadas planas, e foram adotadas coordenadas geográficas (SIRGAS2000) para realização das análises espaciais. No entanto, isso resulta em algumas distorções, como no caso dos *buffers* R=10km em torno das ETEs. Adotou-se $1^\circ = 111$ km para todos os *buffers*, mesmo havendo variação de latitude entre as entidades.

O QGIS não gera círculos perfeitos para traçado de *buffers*. O parâmetro usado foi de polígono com 40 segmentos, o qual, para os propósitos deste estudo, não traz prejuízos de precisão.

A poligonização da camada *raster* de IAR (*vide* tópico a seguir) foi feita com uso da função *Polygonize (raster to vector)* do GDAL (*Geospatial Data Abstraction Library*), com habilitação da função *8-connectedness* para simplificação dos polígonos.

B. ANÁLISES RASTER

A detecção de oportunidades de reúso pelo método IAR possui uma peculiaridade: a necessidade de sobreposição de unidades geográficas de análise diferentes, no caso, municípios e microbacias hidrográficas.

Para contornar essa condição, foram utilizados recursos de SIG que “fragmentam” a informação espacial em áreas menores, permitindo que a comparação seja feita em pequenas porções padronizadas de território. Esse procedimento é denominado “rasterização” e consiste na conversão de atributos vetoriais (polígonos, no caso) em imagem (*raster*) compostas por *pixels*.

Assim, em ambiente SIG, o modelo foi aplicado para cada porção de território (*pixel*), devolvendo um valor de IAR para cada uma delas. Utilizou-se a função *Rasterize (vector to raster)* do *Geospatial Data Abstraction Library (GDAL)*, com de resolução de aprox. 50x50 m.

ANEXO D – ESTIMATIVAS DE CUSTOS

As estimativas de custos apresentadas nos estudos de caso (**Item 5**) foram feitas utilizando-se equações que expressam o custo em função de alguma variável de interesse, como vazão, distância, diâmetro da tubulação, volume de reservação e potência.

As referências, os valores e as equações foram obtidas de CNI (2020) e Fukasawa (2021) e foram reajustadas pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para jan./2024. Os custos foram decompostos em **custos de capital (Capex, capital expenditures)** e de **operação/manutenção (Opex, operational expenditures)**. As funções de custos utilizadas são as apresentadas na Tabela 43.

As funções de custos utilizadas constam da Tabela 1.

TABELA 1 – Síntese de métodos, fontes de dados e funções para estimativa de custos

Item	Capex	Opex
Tratamento MBR	$\text{Capex}_{\text{MBR}} = 4,233 \times Q^{-0,154}$ Capex _{MBR} (R\$/m³/ano), Q (m³/s)	$\text{Opex}_{\text{MBR}} = 0,3084 \times Q^{-0,179} + \text{EE} \times \text{TE}$ Opex _{MBR} (R\$/m³), Q (m³/s), EE (kWh/m³), TE (R\$/kWh)
Tratamento OR	$\text{Capex}_{\text{OR}} = -1,928 \times \ln(Q) + 7,7957$ Capex _{MBR} (R\$/m³/ano), Q (m³/s)	$\text{Capex}_{\text{OR}} = 1,3279 \times Q^{-0,269}$ Capex _{OR} (R\$/m³/ano)
Estações elevatórias	$\text{Capex}_{\text{EE}} = 0,1484 \times Q^{-0,514}$ Capex _{EE} (R\$/m³/ano)	$\text{Opex}_{\text{ad}} = \frac{P \times t \times \text{TE} + 4,5\%(\text{Capex}_{\text{EE}} + \text{Capex}_{\text{ad}})}{Q_{\text{anual}}}$ Opex _{ad} (R\$/m³), P (kW), TE (R\$/kWh), t (h/ano), Capex _{EE} (R\$), Capex _{ad} (R\$), Q _{anual} (m³/ano)
Adutoras	$\text{Capex}_{\text{ad}} = -1,279 \times 10^{-2} \text{DN}^2 + 3,68 \text{DN} + 100,4$ Capex _{ad} (R\$/m), DN (mm)	
Reservação	$\text{Capex}_{\text{res}} = 5,873 \times V^{-0,29}$ Capex _{res} (R\$/m³ de reservação), V (m³ de reservação)	$\text{Opex}_{\text{res}} = 4,5\% \times \text{Capex}_{\text{res}} \times V$ Opex _{res} (R\$/ano), Capex _{res} (R\$/m³ de reservação), V (m³ de reservação)

Capex _{MBR}	custos de capital MBR	Opex _{ad}	custos de capital de adução	P	potência do conjunto motor-bomba
Opex _{MBR}	custos de operação MBR	Capex _{res}	custos de capital de reservação	V	volume de reservação
Capex _{OR}	custos de capital OR	Opex _{res}	custos de operação de reservação	TE	tarifa de energia elétrica
Opex _{OR}	custos de operação OR	Capex _{EE}	custos de capital de elevatórias	t	tempo de operação
Capex _{EE}	custos de capital de elevatórias	Opex _{EE}	custos de capital de elevatórias		
Capex _{ad}	custos de adutoras	DN	diâmetro nominal da tubulação		

Fonte: adaptado de CNI (2020) e Fukasawa (2021). Equações reajustadas pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para jan./2024.

O cálculo de custo unitário foi realizado considerando-se as funções de custos de Capex e Opex, taxa de juros fixa e tempo de retorno de 30 anos. Adotou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL), o qual consiste em trazer ao valor presente pagamentos futuros – considerando-se descontos em razão de taxas de juros – e os descontos do investimento inicial.

As seguintes premissas foram adotadas:

- O investimento é economicamente viável no prazo de retorno estipulado, ou seja, $VPL = 0$.
- O tempo de retorno é igual a 30 anos. Esse valor foi adotado com base em valores de praxe em projetos de infraestrutura e é o mesmo adotado em outros estudos sobre reúso da CNI (2017b, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2020).
- A taxa de juros é fixa e igual a 12% a.a. Esse valor também foi adotado com base em valores de praxe de engenharia (em geral entre 10% e 15%) e é o mesmo adotado em outros estudos sobre reúso da CNI (2017b, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2020).

O cálculo genérico do VPL é apresentado na Equação 3.

$$0 = VPL = -Capex + \sum_{n=1}^N \frac{FC}{(1+i)^n} \quad \text{Equação 3}$$

VPL (R\$) valor presente líquido
 FC (R\$/ano) fluxo de caixa anual
 N (anos) período de retorno do investimento
 n (ano) ano
 i (% aa) taxa anual de juros

Especificamente quando $n = N$ (ou seja, ao final do tempo de retorno analisado), o somatório $\sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n}$ pode ser calculado analiticamente, como mostra a Equação 4.

$$\sum_{n=1}^N \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1 - (1+i)^{-N}}{i} \leftrightarrow n = N \quad \text{Equação 4}$$

i (% aa) taxa anual de juros
 N (anos) tempo de retorno de investimento
 n (anos) ano

Neste estudo, o Fluxo de Caixa (FC) é uniforme e igual à subtração da receita anual pelo $Opex_{anual}$, ou $FC = Tarifa \times Q_{anual} - Opex_{anual}$. Assim, adaptando-se a Equação 3 às especificidades deste trabalho e considerando-se a equivalência da Equação 2, a tarifa é obtida pela Equação 5.

$$0 = VPL = -Capex + \sum_{n=1}^N \frac{FC}{(1+i)^n} \rightarrow Tarifa = \left(\frac{Capex \times i}{1 - (1+i)^{-N}} + Opex_{anual} \right) \frac{1}{Q_{anual}} \leftrightarrow n = N \quad \text{Equação 5}$$

VPL (R\$) valor presente líquido
 Tarifa (R\$/m³) tarifa unitária
 FC (R\$/ano) fluxo de caixa
 Capex (R\$) custo de capital
 Q_{anual} (m³/ano) vazão anual
 Opex_{anual} (R\$/ano) custo de operação anual
 N (anos) período de retorno do investimento
 n (ano) ano
 i (% aa) taxa anual de juros

CNI

Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente

Gabinete da Presidência

Danusa Costa Lima e Silva de Amorim
Chefe do Gabinete - Diretora

DIRETORIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Roberto de Oliveira Muniz
Diretor de Relações Institucionais

Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Davi Bomtempo
Superintendente de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Gerência de Recursos Naturais

Mário Augusto de Campos Cardoso
Gerente de Recursos Naturais

Erica Villarinho

Maria do Socorro Lima Castello Branco

Renata Medeiros dos Santos

Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO – DIRCOM

Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Superintendência de Publicidade e Mídias Sociais

Mariana Caetano Flores Pinto
Superintendente de Publicidade e Mídias Sociais

Sarah de Oliveira Santana

Marcela Louise Moura Santana

Produção Editorial

DIRETORIA CORPORATIVA

Cid Carvalho Vianna
Diretor Corporativo

Superintendência de Desenvolvimento Humano

Renato Paiva
Superintendente de Desenvolvimento Humano

Gerência de Educação Corporativa

Priscila Lopes Cavichioli
Gerente de Educação Corporativa

Alberto Nemoto Yamaguti

Normalização

FIERGS

Gilberto Portello Petry
Presidente

Gerência Técnica e de Suporte aos Conselhos Temáticos**– GETEC**

Vanessa Campos

Gerente Técnica e de Suporte aos Conselhos Temáticos

Conselho de Meio Ambiente – CODEMA

Newton Battastini

Coordenador do Conselho de Meio Ambiente

Sofia Royer Moraes

Tiago Pereira Neto

Equipe Técnica

Observatório da Indústria do Rio Grande do Sul

Kelly Dias

Líder Técnica

Candeia Revisões

Danúzia Queiroz

Revisão gramatical e ortográfica

Prof. Dr. José Carlos Mierzwa

Coordenação da Consultoria Técnica

Prof. Dr. José Carlos Mierzwa

Bruno Nogueira Fukasawa

Autores

Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da Universidade de São Paulo – CIRRA - USP
Elaboração Técnica

Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico

da Engenharia – FDTE

Interveniente

Editorar Multimídia

Projeto Gráfico e Diagramação

 .cni.com.br

 /cniBrasil

 @CNI_br

 @cniBr

 /cniweb

 /company/cni-brasil



9 788579 572906



Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul



Confederação Nacional da Indústria

PELO FUTURO DA INDÚSTRIA