

AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DO REÚSO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS A PARTIR DE EFLUENTES SANITÁRIOS

MANUAL METODOLÓGICO
PARA AMÉRICA DO SUL



AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DO REÚSO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS A PARTIR DE EFLUENTES SANITÁRIOS

MANUAL METODOLÓGICO
PARA AMÉRICA DO SUL

Acesse a versão digital
desta publicação por
meio do QR code



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente

Diretoria de Desenvolvimento Industrial

Jefferson de Oliveira Gomes
Diretor

Mario Sergio Telles
Diretor-Adjunto

Diretoria de Relações Institucionais

Roberto de Oliveira Muniz
Diretor

Diretoria Jurídica

Alexandre Vitorino Silva
Diretor

Diretoria Corporativa

Cid Carvalho Vianna
Diretor

Diretoria de Comunicação

André Nascimento Curvello
Diretor

AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DO REÚSO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS A PARTIR DE EFLUENTES SANITÁRIOS

MANUAL METODOLÓGICO
PARA AMÉRICA DO SUL



© 2025. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

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

CNI

Superintendência de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

C748a

Confederação Nacional da Indústria.

Avaliação de viabilidade do reúso de água para fins industriais a partir de efluentes sanitários : manual metodológico para América do Sul / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2025. / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília : CNI, 2025.

95 p. : il.

ISBN 978-85-7957-327-9

1.Reúso de Água 2. Efluentes Sanitários 3. América do Sul I. Título.

CDU: 556.18:338.45

Elaborado por Alberto Nemoto Yamaguti - Bibliotecário - CRB-1/2396

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

LISTA DE ACRÔNIMOS

Sigla	Significado
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BQQ	Balanço 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
C_{NP}	Coeficiente de demanda não potável
CNI	Confederação Nacional de Indústria
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
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
IAR	Índice de Aptidão de Reúso
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MBR	<i>Membrane Bioreactor</i> (Biorreator com membranas)
MCIDADES	Ministério das Cidades
MMAD	Modelo Multicritério de Apoio à Decisão
Opex	<i>Operational Expenditures</i>
OR	Osmose Reversa
Q_{afl}	Vazão afluenta
Q_{ETE}	Vazão de referência das ETES
Q_{NP}	Vazão não potável
Q_{out}	Vazão outorgada
Q_{proj}	Vazão de projeto
RNPD	Reúso Não Potável Direto
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (antigo SNIS)
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
USP	Universidade de São Paulo
VAB	Valor Adicionado Bruto
VPL	Valor Presente Líquido
ΣQ_{out}	Somatório das vazões outorgadas
BI	<i>Business Intelligence</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo gráfico dos estudos de reúso industrial da CNI	19
Figura 2 – Estados e regiões contemplados pelos estudos e reúso da CNI	20
Figura 3 – Linha do tempo das principais alterações metodológicas realizadas ao longo do desenvolvimento dos estudos, de 2017 a 2025	21
Figura 4 – Índice de Risco Hídrico (<i>Water Risk Index</i>) para a América do Sul	23
Figura 5 – Índice de tratamento de esgotos por país	24
Figura 6 – Modalidades de reúso conforme tipo de uso (não potável e potável) e arranjo (direto ou indireto)	25
Figura 7 – Arranjo esquemático de Reúso Não Potável Direto (RNPD) para fins industriais.....	27
Figura 8 – Mapa com experiências de reúso industrial no mundo	35
Figura 9 – Ilustração dos processos de tratamento aplicados para produção de água de reúso não potável direto de acordo com diferentes experiências mundiais.....	36
Figura 10 – Localização de experiências de reúso industrial brasileiras.....	37
Figura 11 – Método ETE-usuário: fluxograma metodológico.....	40
Figura 12 – Exemplo de aplicação do método ETE-usuário para o caso da ETE Nova São Miguel, em São Miguel dos Campos	44
Figura 13 – Exemplificação dos grupos de classificação das ETES conforme seu potencial de reúso	46
Figura 14 – IAR: fluxograma metodológico	47
Figura 15 – Estrutura do modelo do Índice de Aptidão de Reúso (IAR).....	49
Figura 16 – Representação gráfica das prioridades do Critérios (Nível 1) do modelo IAR.....	51
Figura 17 – Comparação entre camadas vetoriais e <i>raster</i> de balanço hídrico por microbacia hidrográfica ..	53
Figura 18 – Fluxograma para determinação da Q_{ETE} (vazão de referência) das ETES	58
Figura 19 – Sobreposição ETES, outorgas e raio de 10km em torno das ETES – estado de Alagoas	63
Figura 20 – ETES de acordo com potencial de reúso e grupo – Estado de Alagoas	65
Figura 21 – Índice de Aptidão de Reúso (IAR). Valores normalizados dos critérios C1 a C4 – estado de Alagoas	67
Figura 22 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes – Estado de Alagoas	68
Figura 23 – Resultados de IAR – Classificação por grupo – Estado de Alagoas.....	69
Figura 24 – Estudo de caso nr. 1: ETE Teotônio Vilela, em Teotônio Vilela, Alagoas	71
Figura 25 – Estudo de caso nr. 2: Polo Industrial José Aprígio Vilela, em Marechal Deodoro, Alagoas	73
Figura 26 – Captura de tela da plataforma de BI elaborada para os Estados do Rio Grande do Sul e Alagoas.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Links de acesso aos estudos de reúso da CNI	20
Tabela 3 – Coeficiente de demanda não potável (C_{NP}) por divisões (1 a 43) da CNAE 2.0	28
Tabela 4 – Usos industriais comuns de água de reúso e requerimentos de qualidade.....	29
Tabela 5 – Referência de padrão de qualidade para uso em sistemas de resfriamento industrial.....	30
Tabela 6 – Referência de padrão de qualidade para uso em caldeiras de acordo com a pressão de operação	31
Tabela 7 – Referências de Compilação de padrões de qualidade de água de reúso previstos em referências nacionais	32
Tabela 8 – Compilação de experiências de reúso industrial no mundo.....	33
Tabela 9 – Classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso	45
Tabela 10 – Detalhes sobre os critérios e subcritérios que compõem o IAR.....	49
Tabela 11 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 1 – Critérios	50
Tabela 12 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 2 – Subcritérios.....	50
Tabela 13 – Classificação dos valores de IAR	52
Tabela 14 – Bases de dados utilizadas nos estudos	54
Tabela 15 – Seções e divisões CNAE 2.0 contempladas nos estudos.....	56
Tabela 16 – Estrutura CNAE para a Divisão 10, Grupo 10.1.....	57
Tabela 17 – Agrupamento de processos de tratamento das ETEs.....	59
Tabela 18 – ETEs classificadas conforme grupo de potencial de reúso – estado de Alagoas	64
Tabela 19 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes – estado de Alagoas.....	68
Tabela 20 – Avaliação do IAR por Região de Planejamento – Estado de Alagoas	69
Tabela 21 – Estudo de Caso nr. 2 – ETE Teotônio Vilela. Estimativas de Capex, Opex e custos unitários ...	72
Tabela 22 – Estudo de Caso – Polo Industrial José Aprício Vilela. Estimativas de Capex, Opex e custos unitários	74

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	11
RESUMO EXECUTIVO	12
1 ANTECEDENTES	15
1.1 Escopo e objetivo deste documento	15
1.2 Conteúdo e histórico dos estudos	15
2 INTRODUÇÃO	21
2.1 Escassez hídrica, saneamento básico e a urgência por fontes alternativas de água na América do Sul	21
2.2 Conceituação de reúso	23
2.3 Especificidades do reúso industrial	25
2.3.1 Usos de água passíveis de suprimento por água de reúso não potável	25
2.3.2 Padrões de qualidade da água	27
2.3.3 Experiências consolidadas e tecnologias para a produção de água de reúso não potável.....	31
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 Oportunidades de reúso por ETE-usuário.....	37
3.1.1 Articulação inicial e solicitação de dados	39
3.1.2 Processamento e preparo de dados	40
3.1.3 Análises em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas)	41
3.1.4 Tratamento e interpretação dos resultados.....	43
3.2 Oportunidades de reúso pelo Índice de Aptidão de Reúso (IAR).....	44
3.2.1 Estruturação do modelo e levantamento de dados.....	46
3.2.2 Cálculo do IAR em ambiente SIG e criação de mapas	50
3.2.3 Interpretação dos resultados e diretrizes de planejamento	51
3.3 Tópicos específicos sobre dados e interpretação de resultados	52
3.3.1 Fontes de dados.....	52
3.3.2 Demandas industriais de água.....	53
3.3.3 Estações de tratamento de esgotos (ETEs).....	55
4 EXEMPLIFICAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	61
4.1 Oportunidades de reúso pelo modelo ETE-usuário	61
4.1.1 Região Metropolitana de Maceió.....	63
4.1.2 Região de Tabuleiros do Sul	64
4.2 Oportunidades de reúso pelo Índice de Aptidão de Reúso (IAR).....	65
4.3 Estudos de caso.....	68
4.3.1 Estudo de caso nr. 1 – ETE Teotônio Vilela, Alagoas – ETE Grupo B	69
4.3.2 Estudo de caso nr. 2 – Polo Industrial José Aprício Vilela – ETE projetada	70
4.4 Plataformas de <i>Business Intelligence</i> (BI) e disponibilização proativa de dados.....	72

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, DESDOBRAMENTOS E DESAFIOS	75
REFERÊNCIAS	81
GLOSSÁRIO DE TERMINOLOGIAS BRASILEIRAS	83
ANEXO A – MODELO DO ÍNDICE DE APTIDÃO DE REÚSO (IAR) – ASPECTOS METODOLÓGICOS COMPLEMENTARES	87
ANEXO B – FORMATOS DE SOLICITAÇÃO DE DADOS	91
ANEXO C – PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS	94

APRESENTAÇÃO

O reúso de efluentes tratados – medida ambientalmente adequada para a gestão dos recursos hídricos – tem o duplo propósito de elevar a segurança do setor industrial e apoiar a necessária adaptação dos processos produtivos às mudanças climáticas.

Desenvolvido pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), o estudo “Metodologias para o Reúso de Efluentes Tratados na América do Sul” tem o objetivo de fomentar práticas sustentáveis e eficientes na utilização da água para fins industriais, com base no reúso de efluentes sanitários tratados.

Essa publicação consolida os principais resultados de uma série de estudos realizados entre 2017 e 2025 em nove Estados brasileiros e na Região Metropolitana de São Paulo.

A partir dessas análises, foram construídas duas abordagens metodológicas complementares: o método ETE-Usuário e o Índice de Aptidão ao Reúso (IAR). Ambas oferecem instrumentos analíticos e operacionais para planejadores, empresas de saneamento, gestores de recursos hídricos e representantes da indústria.

O método ETE-Usuário, baseado em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), identifica oportunidades de reúso não potável direto ao analisar a oferta de efluentes tratados e a demanda industrial em um raio de 10 km. Já o IAR, fundamentado no modelo multicritério “Analytic Hierarchy Process” (AHP), avalia a aptidão territorial ao reúso considerando fatores como demanda industrial, Valor Adicionado Bruto (VAB), geração de esgotos e balanço hídrico.

As metodologias apresentadas não apenas orientam a implementação de projetos específicos, como também apoiam o planejamento territorial e a formulação de políticas públicas, contribuindo para a segurança hídrica, a inovação tecnológica e a competitividade da indústria.

O documento aborda a viabilidade técnica e econômica do reúso industrial, destacando rotas tecnológicas, estimativas de custos e a importância da qualidade dos dados. Quando trata de aspectos institucionais e regulatórios, também apresenta recomendações para a replicação dos métodos em outros países da América do Sul.

A CNI espera que este material represente uma contribuição significativa para o avanço da gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo a segurança hídrica e a competitividade industrial.

Boa leitura!

Antonio Ricardo Alvarez Alban
Presidente da CNI

RESUMO EXECUTIVO

O estudo “Metodologias para o Reúso de Efluentes Tratados na América do Sul” consolida as principais contribuições da Confederação Nacional da Indústria (CNI) na promoção do reúso de água para fins industriais a partir de efluentes sanitários tratados. A publicação reúne metodologias, análises e resultados técnicos que apoiam governos, empresas e instituições na ampliação do reúso não potável direto na região.

O objetivo é identificar, priorizar e quantificar oportunidades de reúso a partir das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) municipais, oferecendo instrumentos analíticos e operacionais para planejadores, empresas de saneamento, gestores de recursos hídricos e representantes da indústria.

Entre 2017 e 2025, a CNI coordenou dez estudos aplicados em nove estados brasileiros e na Região Metropolitana de São Paulo. Esses trabalhos resultaram em duas abordagens metodológicas complementares: o método ETE-Usuário e o Índice de Aptidão de Reúso (IAR).

O método ETE-Usuário, desenvolvido em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), avalia a oferta de efluente tratado e a demanda industrial próxima, classificando as ETEs em quatro grupos conforme o potencial de aproveitamento. O IAR utiliza um modelo multicritério de apoio à decisão (Analytic Hierarchy Process – AHP), integrando variáveis como demanda industrial, valor adicionado bruto (VAB), geração de esgotos e balanço hídrico.

A integração dessas metodologias permite triagem rápida de áreas prioritárias e direcionamento de estudos detalhados de engenharia e viabilidade econômica, otimizando o planejamento de projetos de reúso industrial.

Viabilidade Técnica e Econômica

As análises conduzidas pela CNI indicam que as maiores oportunidades para o reúso industrial estão concentradas em áreas metropolitanas e polos industriais, onde há convergência de oferta de efluente tratado, demanda significativa de água e criticidade hídrica.

Os resultados mostram que, a depender da configuração tecnológica e da proximidade entre produtor e consumidor, os custos unitários de reúso podem ser competitivos. As rotas tecnológicas avaliadas incluem combinações de tratamento secundário avançado com processos de microfiltração, ultrafiltração, osmose reversa e desinfecção, conforme a exigência do uso industrial.

A confiabilidade das análises depende fortemente da qualidade e disponibilidade dos dados operacionais. Por isso, a CNI desenvolveu modelos padronizados de planilhas e solicitações de dados, além de plataformas interativas de Business Intelligence (BI), que permitem acesso dinâmico a informações sobre ETes, outorgas e oportunidades de reúso.

Aspectos Institucionais e Replicação Regional

A difusão do reúso industrial requer arranjos de governança claros, normas de qualidade da água para usos industriais e instrumentos de incentivo. No Brasil, as normas estaduais e a Resolução CNRH nº 54/2005 orientam o reúso não potável, e experiências internacionais mostram caminhos diversos de monitoramento e controle de qualidade.

A experiência brasileira permite recomendar práticas para replicação das metodologias em outros países da América do Sul, incluindo:

1. Diagnóstico da disponibilidade e qualidade dos dados;
2. Aplicação piloto do método ETE-Usuário;
3. Adaptação do IAR às realidades locais;
4. Estabelecimento de acordos técnicos e cooperação interinstitucional;
5. Desenvolvimento de projetos demonstrativos para testar modelos de governança e aceitação social.

Conclusão

As metodologias desenvolvidas pela CNI associam análise técnica e territorial, oferecendo base sólida para identificar, priorizar e viabilizar projetos de reúso industrial.

A adoção dessas práticas depende de dados confiáveis, capacitação técnica, padronização de processos e cooperação entre indústria, operadores e autoridades públicas.

Com este trabalho, a CNI reafirma seu compromisso com o uso eficiente da água, a inovação tecnológica e a competitividade da indústria, contribuindo para a segurança hídrica e o desenvolvimento sustentável da América do Sul.

Roberto Muniz

Diretor de Relações Institucionais da CNI



1 ANTECEDENTES

1.1 ESCOPO E OBJETIVO DESTE DOCUMENTO

Este documento tem como objetivo consolidar e difundir, para os países da América do Sul, os conhecimentos adquiridos pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) a partir de dez estudos sobre o potencial de reúso não potável para a indústria, realizados entre 2017 e 2025.

Esses estudos foram desenvolvidos pela CNI em parceria com atores locais, como Federações Estaduais da Indústria, empresas de saneamento e órgãos públicos de meio ambiente e recursos hídricos. Assim, além do desenvolvimento técnico, houve constante necessidade de articulação com esses agentes, tanto nas etapas iniciais de levantamento de dados quanto no fomento a futuros desdobramentos dos resultados obtidos.

O tema do reúso industrial envolve diversos aspectos associados ao tratamento de efluentes, ao abastecimento de água, às especificidades dos processos produtivos e à gestão dos recursos hídricos. Por isso, é imprescindível uma forte coordenação entre os atores envolvidos, tanto na elaboração de estudos estratégicos quanto na efetivação das oportunidades identificadas.

1.2 CONTEÚDO E HISTÓRICO DOS ESTUDOS

Os estudos sobre reúso de água na indústria, conduzidos pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), tiveram início em 2017 a partir da seguinte indagação: quais são as oportunidades de reúso provenientes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) municipais, considerando a presença de indústrias próximas que possam ser usuárias potenciais de água de reúso?.

É amplamente reconhecido no setor de saneamento que o transporte de água representa um dos principais custos de capital e operação em sistemas de abastecimento — o que se aplica também ao reúso. Quando o usuário está muito distante do ponto de produção, o custo de adução (tubulações, energia e operação) tende a inviabilizar a iniciativa. Por outro lado, múltiplos usuários de baixa vazão distribuídos de forma dispersa exigem redes amplas e complexas, igualmente de baixa viabilidade econômica.

Com o objetivo de estudar o potencial de reúso nos diferentes estados brasileiros, os estudos adotaram três abordagens principais, apresentadas a seguir:

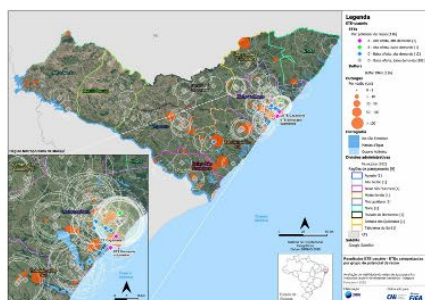
- Potencial de reúso por ETE – modelo ETE-usuário: avalia o potencial de reúso a partir de todas as ETEs estaduais, independentemente da capacidade ou do tipo de tratamento. Considera usuários industriais próximos, identificados por sua demanda hídrica, tipo de atividade e localização. Cada ETE é classificada em grupos de potencial de reúso, facilitando a interpretação dos resultados.
- Potencial de reúso por área – Índice de Aptidão de Reúso (IAR): utiliza um modelo multicritério de apoio à decisão, gerando um valor de IAR para cada área analisada. Quanto maior o IAR, maior o potencial de reúso. O modelo combina diversos critérios (demanda, proximidade, disponibilidade, viabilidade técnica, entre outros) e permite mapear áreas com maior sobreposição de fatores favoráveis.
- Estudos de caso: detalham exemplos práticos de projetos de reúso, incluindo estimativas de custos de tratamento, reservação, distribuição e custo unitário da água de reúso, demonstrando arranjos técnicos e econômicos aplicáveis.

A Figura 1 ilustra graficamente essas abordagens.

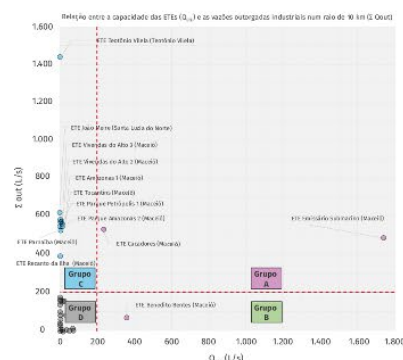
FIGURA 1 – Resumo gráfico dos estudos de reúso industrial da CNI

ETE-usuário

Oportunidades de reúso por ETE, com base nos usuários industriais próximos e suas características.



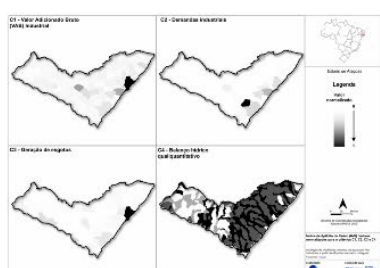
Caracterização das ETEs e usuários industriais. Avaliação das indústrias dentro de um raio de 10 km em torno de cada ETE



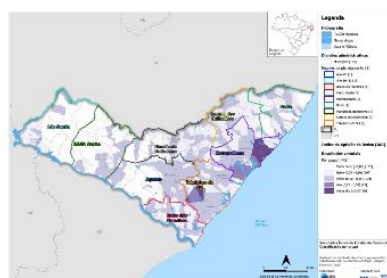
Classificação das ETEs de acordo com grupos de potencial de reúso

Índice de Aptidão de Reúso (IAR)

Avaliação multicritério de potencial de reúso, com classificação das áreas da região de estudo conforme seu potencial de reúso



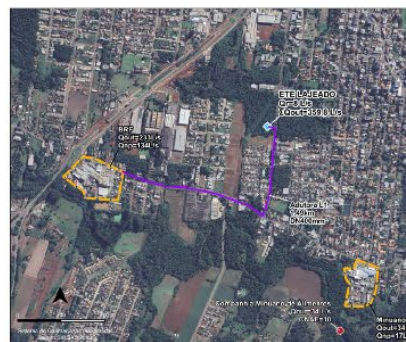
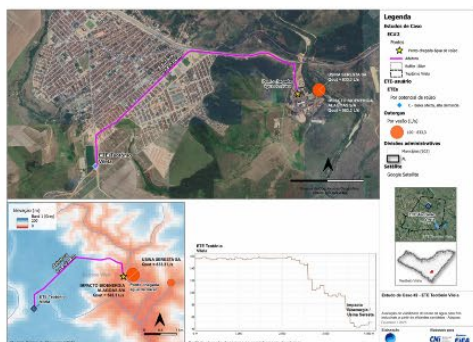
Uso de Método Multicritério de Apoio à Decisão (MMAD) para estruturação do Índice de Aptidão ao Reúso (IAR)



Classificação do território do estado conforme valor de IAR resultante

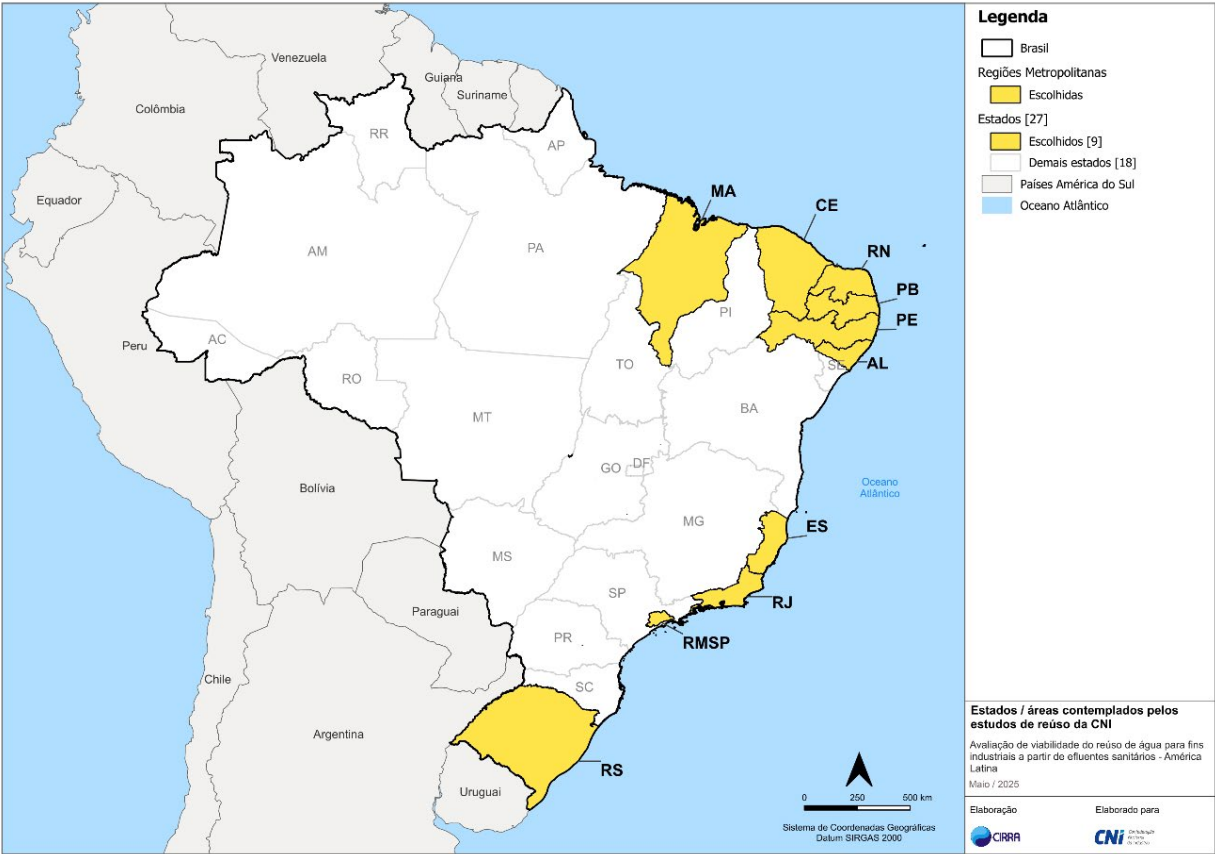
Estudos de caso

Estudos de caso escolhidos com base nos resultados por ETE e por área. Proposição de tratamento para produção de água de reúso, transporte até o usuário (recalque) e estimativas de custos (Capex e Opex)



Até 2025, os estudos contemplaram nove Estados brasileiros (incluindo Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará, Rio Grande do Sul e outros) e a Região Metropolitana de São Paulo, principal conglomerado urbano da América do Sul, conforme apresentado na Figura 2.

FIGURA 2 – Estados e regiões contemplados pelos estudos e reúso da CNI



Fonte: elaboração própria.

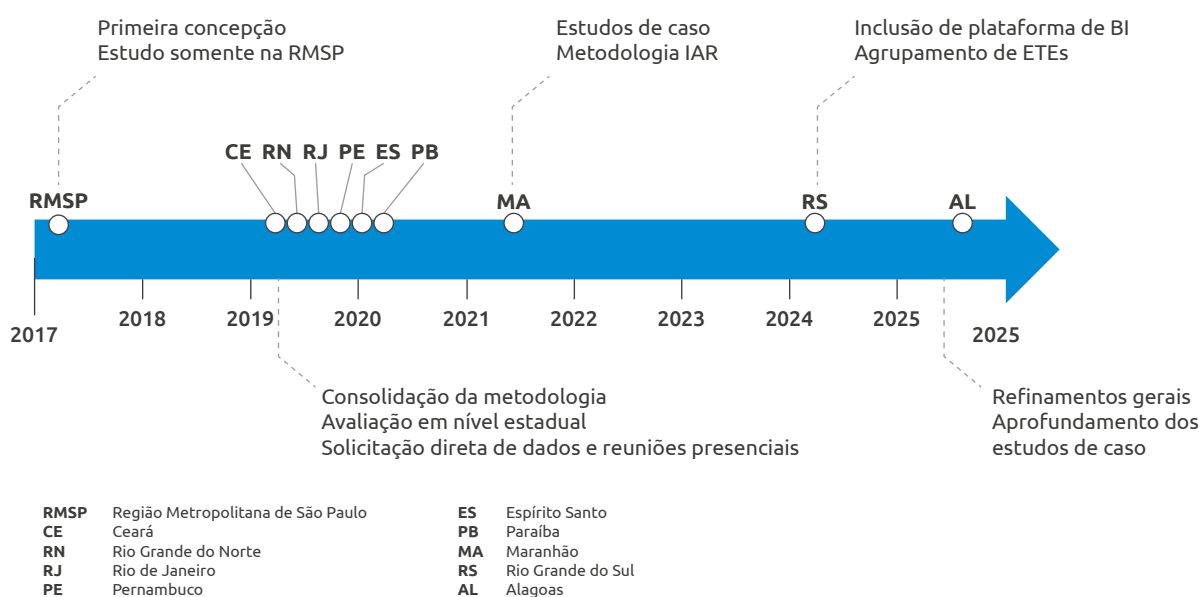
Os *links* de acesso para as versões digitais de cada um dos estudos constam na Tabela 2 abaixo.

TABELA 1 – Links de acesso aos estudos de reúso da CNI

Ano	Área estudada	Acesso
2017	Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)	Link de acesso - RMSP
2019	Ceará (CE)	Link de acesso - CE
	Rio Grande do Norte (RN)	Link de acesso - RN
	Rio de Janeiro (RJ)	Link de acesso - RJ
	Pernambuco (PE)	Link de acesso - PE
	Espírito Santo (ES)	Link de acesso - ES
2020	Paraíba (PB)	Link de acesso - PB
2021	Maranhão (MA)	Link de acesso - MA
2024	Rio Grande do Sul (RS)	Link de acesso - RS
2025	Alagoas (AL)	Link de acesso - AL

Os estudos foram iniciados em 2017, e, ao longo do tempo, foram realizadas diversas alterações e melhorias, oriundas do próprio processo de elaboração. As principais foram a inclusão do IAR e dos estudos de caso, bem como melhorias pontuais feitas entre cada uma das edições. A Figura 3 mostra uma linha do tempo do desenvolvimento dos trabalhos, destacando as mudanças realizadas.

FIGURA 3 – Linha do tempo das principais alterações metodológicas realizadas ao longo do desenvolvimento dos estudos, de 2017 a 2025



Fonte: elaboração própria.



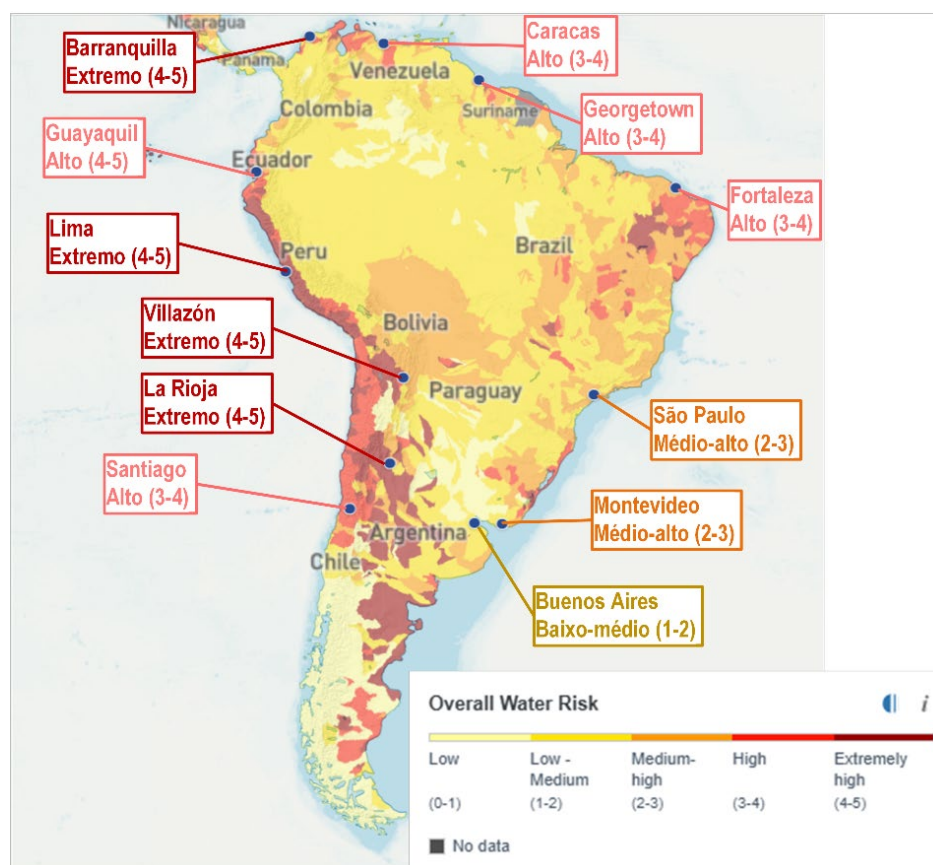
2 INTRODUÇÃO

2.1 ESCASSEZ HÍDRICA, SANEAMENTO BÁSICO E A URGÊNCIA POR FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA NA AMÉRICA DO SUL

O agravamento da crise hídrica é uma realidade mundial inquestionável, com implicações diferentes em cada região do planeta. A América do Sul, apesar de abrigar bacias hidrográficas como a dos rios Amazonas e do Prata, bem como os sistemas aquíferos Guarani e Grande Amazônia, possui inúmeras regiões afetadas por problemas de escassez hídrica, visto que o padrão de uso e ocupação do solo não acompanha a distribuição espacial da disponibilidade hídrica natural.

Diversas regiões, altamente povoadas, localizadas nas costas dos oceanos Atlântico e Pacífico vivem em estado de escassez hídrica crônica. A Figura 4 mostra o [Water Risk Index \(WRI\)](#) para a América do Sul, com destaque a diferentes áreas ao longo do subcontinente que apresentam graus distintos de risco hídrico, principalmente os de risco alto, muito alto e extremo.

FIGURA 4 – Índice de Risco Hídrico (Water Risk Index) para a América do Sul



Fonte: adaptado de AQUEDUCT (2025). Elaboração própria.

O WRI é um indicador que agrega riscos hídricos físicos quantitativos (como estresse hídrico, risco de secas e redução da disponibilidade natural), físicos qualitativos (como presença de esgoto não tratado e potencial de eutrofização) regulatórios e reputacionais (como acesso à água potável, conexão à rede de coleta de esgotos e ausência de estruturas de tratamento).

Outra realidade observada na região é o estado ainda incipiente do tratamento de efluentes sanitários. [Dados mais recentes da UN-Water](#)¹ relativos ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (Água Potável e Saneamento) indicam índices de tratamento em torno de 40% nos países sul-americanos, o que revela a necessidade de investimentos massivos na implantação de redes de coleta e de sistemas de tratamento, conforme mostra a Figura 5.

FIGURA 5 – Índice de tratamento de esgotos por país



Fonte: dados do BID (2020) e UN-Water (2025). Elaboração própria

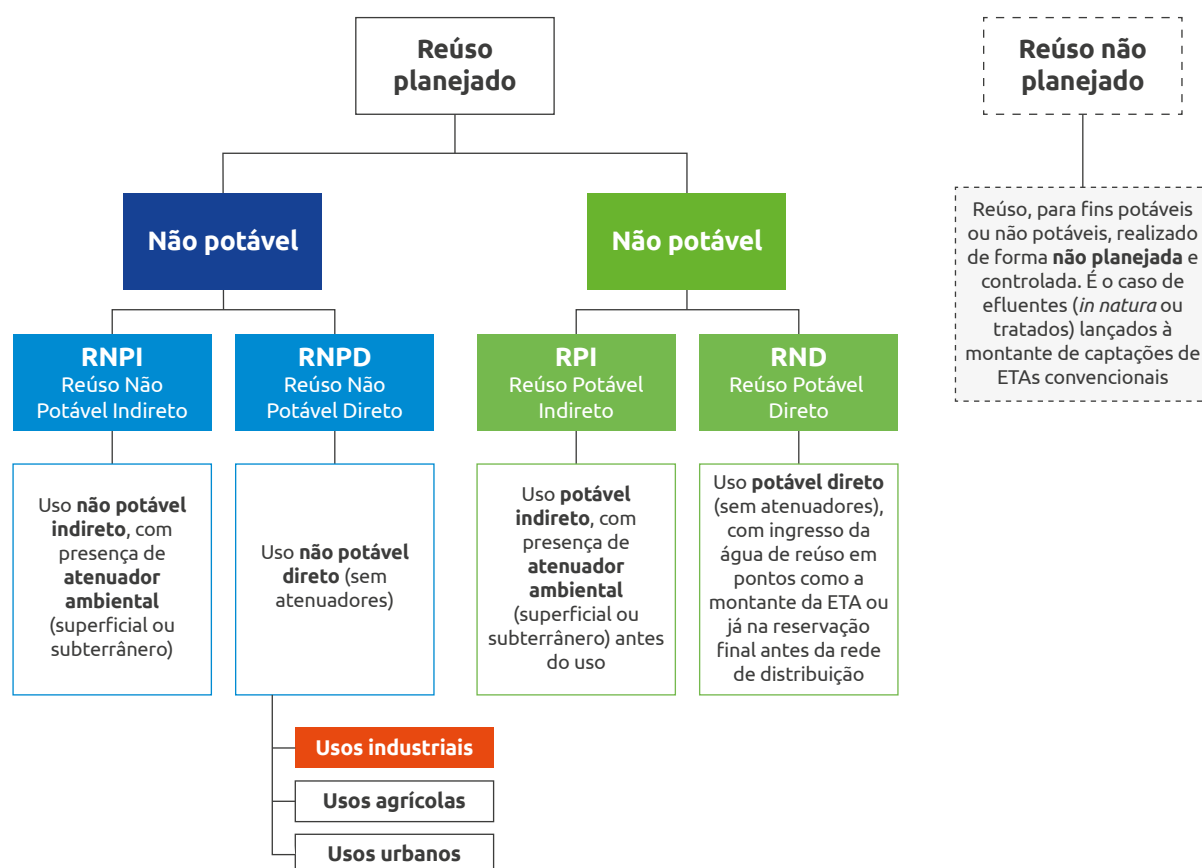
1 UN-Water: Organização das Nações Unidas para a Água

A conjunção entre alto risco hídrico e necessidade de expansão da infraestrutura de esgotamento sanitário cria condições favoráveis para a busca de fontes alternativas de água, entre as quais se destaca o reúso. A água de reúso não apenas garante maior segurança hídrica ao setor produtivo, mas também reduz a pressão sobre os mananciais atualmente utilizados, aumentando a disponibilidade para os demais usos, especialmente o consumo humano.

2.2 CONCEITUAÇÃO DE REÚSO

Ainda que haja variações na definição do que é reúso, em geral entende-se que se trata da utilização de água recuperada a partir de efluentes para suprimento de demandas múltiplas — desde que não potáveis, como industriais e de irrigação, até potáveis, destinadas ao consumo humano. Uma forma amplamente aceita de categorização dos tipos de reúso considera o tipo de uso final (potável ou não potável) e o arranjo (direto ou indireto), conforme ilustra Figura 6.

FIGURA 6 – Modalidades de reúso conforme tipo de uso (não potável e potável) e arranjo (direto ou indireto)



Fonte: adaptado de Fukasawa (2021). Elaboração própria.

Quanto ao tipo de uso:

- Não potável: uso de água de reúso para suprir usos não potáveis, como industriais (reposição de sistemas de resfriamento, produção de vapor em caldeiras, lavagens, preparo de soluções), irrigação agrícola e usos urbanos (limpeza de vias, desobstrução de galerias de águas pluviais, irrigação paisagística). Corresponde praticamente à totalidade dos usos de água de reúso adotados no mundo.
- Potável: uso de água de reúso para fins potáveis (consumo humano). Existem poucas experiências desse tipo, como as registradas na Namíbia (Windhoek) e nos Estados Unidos (Orange County e Big Spring). Ainda há pouco disciplinamento sobre o reúso potável, sendo as principais barreiras à sua disseminação a necessidade de melhor compreensão dos efeitos dos Contaminantes de Interesse Emergente (CEIs) e questões relacionadas à aceitação pública da prática.

Quanto ao arranjo:

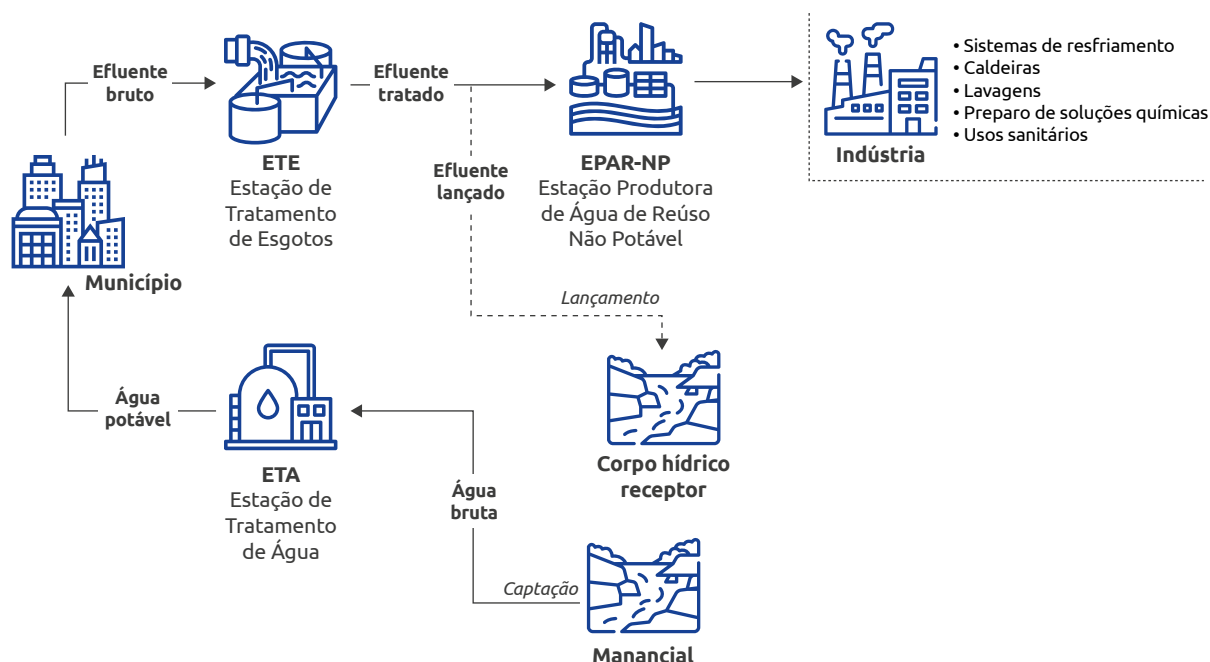
- Direto: a água de reúso é disponibilizada diretamente para o uso após a produção, passando apenas por reservação e distribuição antes da chegada ao ponto de uso.
- Indireto: a água de reúso é lançada em um atenuador (natural ou construído), como um manancial superficial ou subterrâneo, do qual será captada e tratada em uma estação de tratamento convencional. Somente após esse retratamento a água é disponibilizada para uso. Esses atenuadores ambientais visam reduzir concentrações e o potencial deletério dos contaminantes por mecanismos como diluição, metabolização, oxidação por radiação solar, entre outros, minimizando os potenciais efeitos adversos associados.

Planejado / não planejado:

- É prática comum o lançamento de efluentes não tratados ou insuficientemente tratados em corpos hídricos. Tais corpos são utilizados como mananciais por outros municípios ou mesmo pelo próprio município, resultando em reúso não planejado indireto, inclusive para fins potáveis.

Cabe enfatizar que o conteúdo deste documento aborda exclusivamente o reúso não potável direto (RNPd) para fins industriais.

A Figura 7 mostra um esquema típico de RNPd para fins industriais. Nesse esquema, a água é captada de um manancial natural, tratada em ETA convencional e distribuída ao município. Os efluentes gerados e coletados seguem para ETE, cujo objetivo principal é adequar a qualidade para lançamento no meio ambiente. Parte do efluente tratado é desviada para produção de água de reúso não potável para fins industriais, sendo a outra parcela lançada no corpo hídrico.

FIGURA 7 – Arranjo esquemático de Reúso Não Potável Direto (RNP) para fins industriais

Fonte: elaboração própria.

Para além do reúso, observa-se atualmente uma tendência de transição do paradigma de efluente como rejeito para efluente como fonte de recursos. Também podem ser recuperados outros insumos, como macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), metais de interesse (cobre, lítio e ouro), ácidos, bases, sais e carbono na forma de biogás.

2.3 ESPECIFICIDADES DO REÚSO INDUSTRIAL

2.3.1 USOS DE ÁGUA PASSÍVEIS DE SUPRIMENTO POR ÁGUA DE REÚSO NÃO POTÁVEL

A prática de reúso para fins industriais requer, antes de tudo, compreender quais são as características qualitativas dos usos de água em cada tipo de indústria e, em nível mais aprofundado, nas instalações que serão abastecidas.

Os usos de água na indústria são múltiplos, dentre os quais podem-se destacar (MIERZWA; ESPÍNDOLA e HESPANHOL, 2024): uso como matéria-prima (incorporação ao produto final), preparação de soluções químicas, lavagens, geração de vapor e reposição de sistemas de resfriamento.

Entre eles, há um que apresenta uma característica especial: o uso em sistemas de resfriamento (ou Torres de Resfriamento, TRs), que podem representar parcelas muito relevantes da demanda de água em uma unidade industrial. Essa proporcionalidade pode superar, para alguns setores, 90% do total; somada ao fato de que o processo tolera utilização de água com padrões de qualidade menos restritivos (MIERZWA, 2002) e independe da qualidade requerida no processo produtivo em si (CNI, 2017), cria-se um cenário propício à prática de reúso não potável.

A Tabela 3 apresenta o Coeficiente Não Potável (C_{NP}), que representa a proporção de água não potável demandada por indústrias de acordo com a tipologia CNAE, com base principalmente no uso para resfriamento.

TABELA 3 – Coeficiente de demanda não potável (C_{NP}) por divisões (1 a 43) da CNAE 2.0

Atividade	C_{NP}
Atividades de apoio à extração de minerais	3%
Fabricação de produtos alimentícios	50%
Fabricação de bebidas	61%
Fabricação de produtos do fumo	66%
Fabricação de produtos têxteis	36%
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	17%
Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	7%
Fabricação de produtos de madeira	38%
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	26%
Impressão e reprodução de gravações	3%
Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	87%
Fabricação de produtos químicos	86%
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	92%
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	65%
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	66%
Metalurgia	60%
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	9%
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	11%
Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	63%
Fabricação de máquinas e equipamentos	0%
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	44%
Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	44%
Fabricação de móveis	0%
Fabricação de produtos diversos	26%
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	0%
Outras indústrias de transformação ^(a)	36% ^(b)
Eletricidade, gás e outras utilidades	68%

(a) C_{NP} considerado igual a zero nos casos em que não foi encontrada correlação de atividade econômica em publicações técnicas.

(b) Outras atividades de transformação. Divisão inexistente na CNAE 2.0. C_{NP} utilizado para as atividades de transformação para as quais não foi possível determinação de divisão de acordo com a CNAE 2.0.

Fonte: Fukasawa (2021).

Esses valores foram baseados em referências técnicas provenientes principalmente dos EUA e da Europa, existindo uma importante lacuna de estudos nacionais sobre o tema – situação que, provavelmente, também se repete nos demais países da América do Sul.

2.3.2 PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

O padrão de qualidade da água de reúso destinada à indústria deve ser compatível com os usos a serem atendidos, devendo ser analisado caso a caso. Tratamento insuficiente resulta em água de baixa qualidade, o que pode comprometer processos, produtos e equipamentos. Por outro lado, tratar a água em níveis desnecessariamente elevados leva a custos excessivos.

No Brasil, não há legislações ou normas nacionais que definam padrões de qualidade específicos para usos industriais, cabendo aos envolvidos – produtor e usuário de água de reúso – estabelecerem acordos técnicos sobre o tema.

A Tabela 4 apresenta algumas referências técnicas de padrões de qualidade da água de reúso não potável para aplicações típicas na indústria: reposição de sistemas de resfriamento, produção de vapor em caldeiras e outros usos não potáveis, como descargas sanitárias, irrigação paisagísticas e lavagens de piso.

TABELA 4 – Usos industriais comuns de água de reúso e requerimentos de qualidade

Finalidade	Uso	Requerimentos comuns de qualidade
Torres de resfriamento (TRs) (Tabela 5)	Reposição de sistemas de resfriamento	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica (DBO e DQO) • Sólidos em suspensão (SST e turbidez) • Sólidos dissolvidos (SDT e condutividade elétrica) • Compostos que causam incrustação, abrasão e corrosão (alcalinidade, dureza, sílica, cloretos) • Microrganismos patogênicos e formadores de biofilme (bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes e totais)
Caldeiras (Tabela 6)	Produção de vapor	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicáveis todos os listados para TRs • Maior controle sobre sólidos dissolvidos (SDT e condutividade elétrica) • Maior controle sobre compostos que causam incrustação, abrasão e corrosão (alcalinidade, dureza, sílica, cloretos)
Outros usos (Tabela 7)	Descargas sanitárias, lavagens de piso, irrigação paisagística	<ul style="list-style-type: none"> • Matéria orgânica (DBO e DQO) • Sólidos em suspensão (SST e turbidez) • Microrganismos patogênicos e formadores de biofilme (bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes e totais)

Fonte: elaboração própria.

A Tabela 5 apresenta o padrão de qualidade para água de resfriamento utilizado no Aquapolo, a maior experiência de reúso não potável industrial do Brasil (abordada no Item 2.4.1).

TABELA 5 – Referência de padrão de qualidade para uso em sistemas de resfriamento industrial

Parâmetro	Unidade	Valores de referência ^(a)
pH	-	6,5 - 7,5
DBO _{5,20}	mgO ₂ /L	< 10
DQO	mgO ₂ /L	< 20
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	< 5
Turbidez	UNT	< 1,0
Condutividade elétrica	µS/cm	< 600
Nitrogênio amoniacal	mg/L	< 1
Nitrato	mg/L	< 5
Fósforo total	mg/L	< 0,5
Dureza	mgCaCO ₃ /L	< 100
Alumínio	mg/L	< 0,2
Cobre	mg/L	< 0,1
Fenóis	mg/L	< 0,13
Ferro	mg/L	< 0,3
O&G	mg/L	< 5
Sílica	mg/L	< 20
Sulfetos	mg/L	< 0,1
Surfactantes	mg/L	< 1,0

(a) Valores máximos recomendados para sistemas de resfriamento industrial, Conforme Sabesp (2010) e MCidades (2017).

Fonte: elaboração própria.

O uso de água em sistemas de resfriamento depende de diversos fatores que exigem a análise individual de cada caso. Entre as variáveis relevantes estão: o tipo de resfriamento (direto ou indireto); no caso do resfriamento direto, as características e sensibilidades dos elementos a serem resfriados; os equipamentos, materiais e instrumentos utilizados em bacias, torres, tubulações, bicos aspersores, materiais de enchimento e hélices; as temperaturas de entrada e saída da água (ΔT); e as condicionantes ambientais a serem atendidas para o lançamento da água de purga (*blowdown*), entre outras.

Nos sistemas de resfriamento, as principais preocupações com a qualidade da água dizem respeito aos danos provocados por incrustações, deposição, formação de biofilme e corrosão. Para isso, é prática corrente o monitoramento contínuo ou a realização de análises laboratoriais de parâmetros como pH, condutividade elétrica/SDT, cloretos, dureza, alcalinidade, sílica, turbidez/SST, DBO, bactérias heterotróficas e espécies de nitrogênio, fósforo e sulfatos.

Há uma relação direta entre a qualidade da água de reposição e o número de ciclos de concentração possíveis nos circuitos, especialmente no caso dos sólidos dissolvidos. Água de melhor qualidade requer tratamentos mais avançados (portanto, maior custo), mas permite maior número de ciclos de concentração, reduzindo a demanda por água de reposição. De modo análogo, o uso de água de menor qualidade, associada a menores custos, implica menor número de ciclos de concentração e, conseqüentemente, maior consumo de água.

No que se refere ao uso de água de reúso em caldeiras, a Tabela 6 apresenta o padrão sugerido pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), conforme diferentes pressões de operação.

TABELA 6 – Referência de padrão de qualidade para uso em caldeiras de acordo com a pressão de operação

Parâmetro	Unid.	Pressão de operação no tambor (psig)			
		0-300	601-750	901-1000	1501-2000
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	700 - 3.500	200 - 1.000	125 - 625	50
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	15	3,0	1,0	ND ^(*)
Condutividade elétrica	µS/cm	1.100 - 5.400	300 - 1500	200 - 1000	80
Alcalinidade total	mgCaCO ₃ /L	350	200	100	ND ^(*)
Sílica	mgSiO ₂ /L	150	30	8,0	1,0

(*) ND: não detectável.

Fonte: EPA (U.S. EPA, 2012)

No caso das caldeiras, é necessário um controle mais rigoroso de sais e de compostos capazes de causar incrustações. Conforme a pressão de operação, impõe-se o uso de processos de tratamento voltados à remoção de compostos dissolvidos, como osmose reversa ou troca iônica, o que também exige controle rigoroso de sólidos suspensos.

Além dos usos industriais propriamente ditos, existem outros usos não potáveis em unidades industriais, como descargas em bacias sanitárias e mictórios, irrigação paisagística, lavagem de pisos, áreas de circulação de veículos e controle de poeira, entre outros. Nesse caso, aplicam-se resoluções e normas brasileiras que definem padrões de qualidade específicos para usos considerados “urbanos” ou realizados em edificações. A Tabela 7 apresenta três referências brasileiras sobre o reúso não potável para essas finalidades: Resolução SES/SIMA nº 01/2020 (Estado de São Paulo), Resolução COEMA nº 02/2017 (Estado do Ceará) e a norma ABNT NBR 16783/2019, de âmbito nacional.

TABELA 7 – Referências de Compilação de padrões de qualidade de água de reúso previstos em referências nacionais

Parâmetro	Unidade	Resolução SES/SIMA n° 01/20 (São Paulo)		Resolução COEMA n° 02/2017 (Ceará)	ABNT NBR 16783: 2019
		Classe A ^(a)	Classe B ^(a)		
Usos contemplados		Fins urbanos: irrigação paisagística; lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados; construção civil; desobstrução de galerias de águas pluviais e rede de esgotos; lavagem de veículos; combate a incêndio.	Fins urbanos: irrigação paisagística; lavagem de logradouros públicos e veículos; desobstrução de tubulações; construção civil; edificações e combate a incêndio dentro da área urbana.		Usos em edificações: descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de logradouros e áreas externas; lavagem de veículos; irrigação paisagística; uso ornamental; arrefecimento de telhados; sistemas de resfriamento.
pH	-	6 - 9	6 - 9	6 - 8,5	6 - 9
DBO _{5,20}	mgO ₂ /L	≤ 10	≤ 30	-	≤ 20
Turbidez ^(b)	UNT	≤ 0,2 ^(b) ≤ 2,0	-	-	≤ 5
SST ^(b)	mg/L	≤ 0,5 ^(b)	< 30	-	-
SDT	mg/L	-	-	-	< 2.000
Condutividade elétrica ^(c)	µS/cm	< 700 ^(c)	< 3.000 ^(c)	≤ 3.000	≤ 3.200
Coliformes termotolerantes ^(d)	UFC/100 ml	ND	< 200	≤ 1.000	-
E. Coli ^(d)		ND	< 120	-	≤ 200
Ovos de helmintos ^(d)	ovos/L	< 1	1	≤ 1	-
Giardia ^(d) e Cryptosporidium ^(d)	cistos ou oocistos/L	ND	-	-	-
Cloro residual total	mg/L	1,0 - 5,0	≥ 1,0	-	-
Cloro residual livre	mg/L	-	-	-	0,5 - 5,0 (0,5 - 2,0) ^(e)
Cloretos ^(c)		< 106 ^(c)	< 350 ^(c)	-	-
RAS ^(c)		< 0,7 ^(c)	< 2,0 ^(c)	-	-
Boro ^(d)		< 3 ^(c)	3 - 9 ^(c)	-	-

Clicar sobre o nome das resoluções / normas para acessar o [link](#) dos textos.

OD: oxigênio dissolvido. SST: sólidos suspensos totais. SDT: sólidos dissolvidos totais. ND: não detectável.

(a) A resolução estabelece dois tipos de reúso: Classe A (uso irrestrito) e Classe B (uso restrito). A diferenciação reside no fato de que, para o reúso Classe B, não pode haver trânsito de pessoas na área onde ocorre a prática de reúso, devendo haver adequada sinalização. Alguns usos só podem ser abastecidos por água Classe A, como lavagem interna de veículos e combate a incêndio. Recomenda-se o acesso à norma para visualização completa das especificidades de cada classe.

(b) Para o caso de sistemas com membranas, a turbidez deve ser ≤ 0,5 NTU e SST ≤ 0,5 mg/L. Ou seja, a resolução possui padrão mais rigoroso para o caso de uso de sistema de membranas.

(c) Exigidos somente para o caso de irrigação paisagística.

(d) Monitoramento de patógenos caso seja utilizado MBR e/ou OR e garantida turbidez ≤ 0,2 NTU.

(e) O valor entre parênteses (0,5 – 2,0 mg/L) é o recomendado.

Fonte: CEARÁ (2017), ABNT (2019), ESTADO DE SÃO PAULO (2020).

É possível notar que as normas apresentam abordagens e padrões de qualidade substancialmente diferentes. A Resolução SES/SIMA n° 01/20 de São Paulo inclui somente os usos urbanos e estabelece classes distintas (Classe A e Classe B) de acordo com o nível de restrição à área onde ocorre o reúso, cada qual com finalidades, padrões de qualidade, rotas tecnológicas e

frequências de monitoramento diferentes. A Resolução COEMA nº 02/17 abrange um maior número de finalidades de reúso além dos usos urbanos e apresenta padrões de qualidade menos restritivos e detalhados em comparação ao Estado de São Paulo. A norma técnica NBR ABNT 16.783/19 é focada em usos em edificações e abrange também outras fontes de água não potável (água de chuva e água condensada de sistemas de ar-condicionado), e inclui usos como descargas em bacias sanitárias e ornamentais (fontes, espelhos d'água), os quais não estão presentes nos outros textos.

2.3.3 EXPERIÊNCIAS CONSOLIDADAS E TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO NÃO POTÁVEL

A necessidade de tratamento para produção de água de reúso depende, basicamente, da qualidade do esgoto bruto e da qualidade final requerida (ver Item 2.3.2), bem como de eventuais condicionantes sanitárias, ambientais ou normativas que estabeleçam rotas de tratamento específicas. Assim, as experiências de reúso podem adotar rotas tecnológicas diferentes, a depender de suas necessidades.

A Tabela 8 compila experiências de reúso industrial no mundo, identificando as vazões de projeto, o tipo de tratamento secundário a partir do qual a água de reúso é gerada, a rota tecnológica para produção de água de reúso, o status atual e quais são os usos finais atualmente supridos.

TABELA 8 – Compilação de experiências de reúso industrial no mundo

Nome	Localização	Vazão de projeto (L/s)	Tratamento secundário na ETE municipal	Tratamento adicional para produção de água de reúso	Status	Uso abastecido
Huairfang Reclamation Plant	Pequim, China	6.342	MBR	O ₃ + UV	Operando	Industrial / recarga de zonas úmidas
Western Corridor Scheme	Queensland, Austrália	2.685	LA	MF + OR + POA	Stand-by	Industrial
NEWater - Sembcorp (Changi)	Singapura	2.191	MBR	MF + OR + UV	Operando	Industrial
NEWater - BEWG-UESH (Changi)	Singapura	2.190	MBR	MF + OR + UV	Operando	Industrial
NEWater - Keppel Seghers (Ulu Pandan)	Singapura	1.446	MBR	MF + OR + UV	Operando	Industrial
Michelson Water Reclamation Plant (MWRP)	Califórnia, EUA	1.226	LA	FT + OR + UV	Operando	Industrial, irrigação paisagística, usos urbanos não potáveis
Aquapolo ⁽¹⁾	São Paulo, Brasil	1.000	LA	MBR + OR + CL	Operando	Complexo petroquímico Capuava (resfriamento, caldeiras)

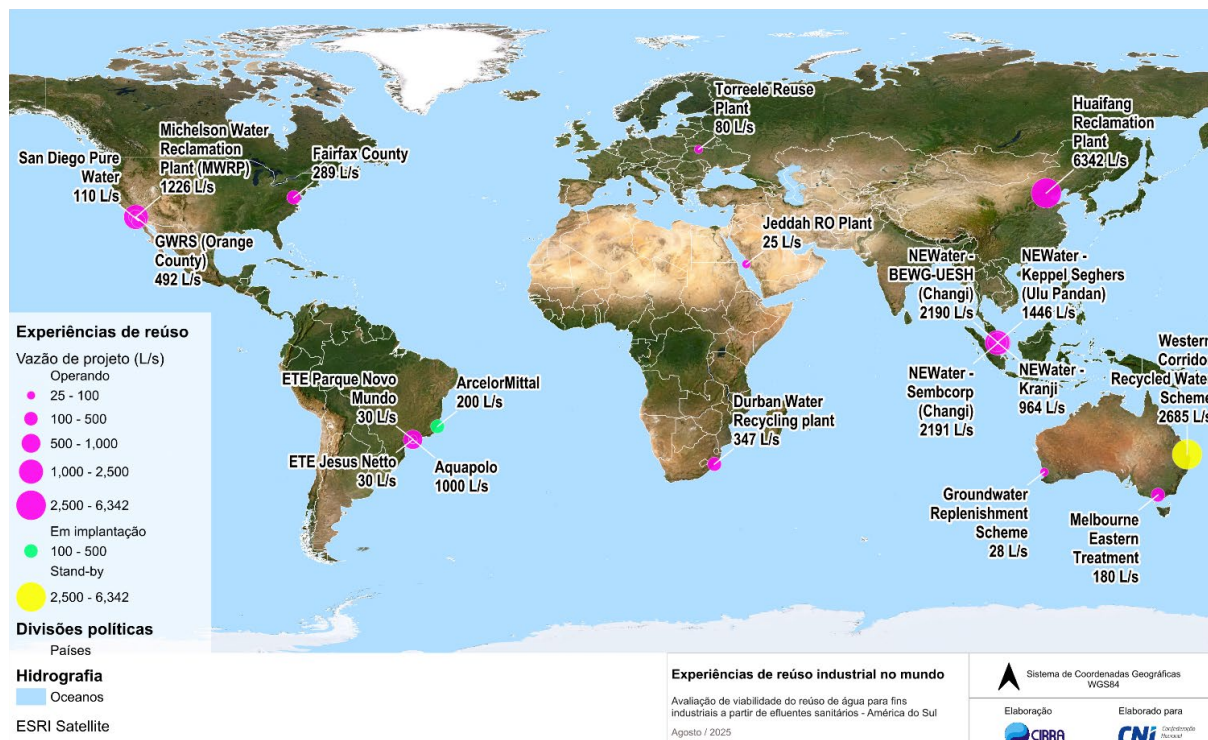
Nome	Localização	Vazão de projeto (L/s)	Tratamento secundário na ETE municipal	Tratamento adicional para produção de água de reúso	Status	Uso abastecido
NEWater - Kranji	Singapura	964	MBR	MF + OR + UV	Operando	Industrial
GWRS (Orange County)	Califórnia, EUA	492	LA	MF + OR + POA	Operando	Recarga de aquífero
Durban Water Recycling plant	Durban, África do Sul	347	LA	UF + UV	Operando	Refinarias e indústria de papel
Fairfax County	Virgínia, EUA	289	LA	FT + CL	Operando	Industrial, irrigação de campos de golfe e campos esportivos
ArcelorMittal / CESAN ⁽¹⁾	Vitória, Brasil	200	LA	UF + OR + CL	Em projeto	Industrial
Melbourne Eastern Treatment	Melbourne, Austrália	180	LA	FT + CL	Operando	Industrial / agricultura
San Diego Pure Water	San Diego, EUA	110	LA	MF + OR + UV	Operando	Industrial / recarga
Torrelee Reuse Plant	Koksijde, Bélgica	80	LA	UF + OR + UV	Operando	Recarregamento de aquíferos + uso industrial sazonal
ETE Jesus Netto ⁽¹⁾	São Paulo, Brasil	30	LA	FT + CL	Operando	Industrial
ETE Parque Novo Mundo ⁽¹⁾	São Paulo, Brasil	30	LA / UASB (são duas linhas paralelas)	FT + CL	Operando	Industrial
Groundwater Replenishment Scheme	Perth, Austrália	28	MBR	OR + UV	Operando	Indústria/Recarga
Jeddah RO Plant	Jeddah, Arábia Saudita	25	MBR	OR + UV	Operando	Refrigeração

(1) Estas experiências são apresentadas em maiores detalhes no Item 2.4.

CL: Cloração. FT: Filtração terciária. MBR: Membrane Bioreactor. MF: Microfiltração. O3: Oxidação com ozônio. OR: Osmose reversa. POA: Processo Oxidativo Avançado. UF: Ultrafiltração. UV: Ultravioleta. UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

Fonte: elaboração própria.

O mapa da Figura 8 mostra a localização das experiências relacionadas na Tabela 8, representadas de acordo com sua vazão de projeto.

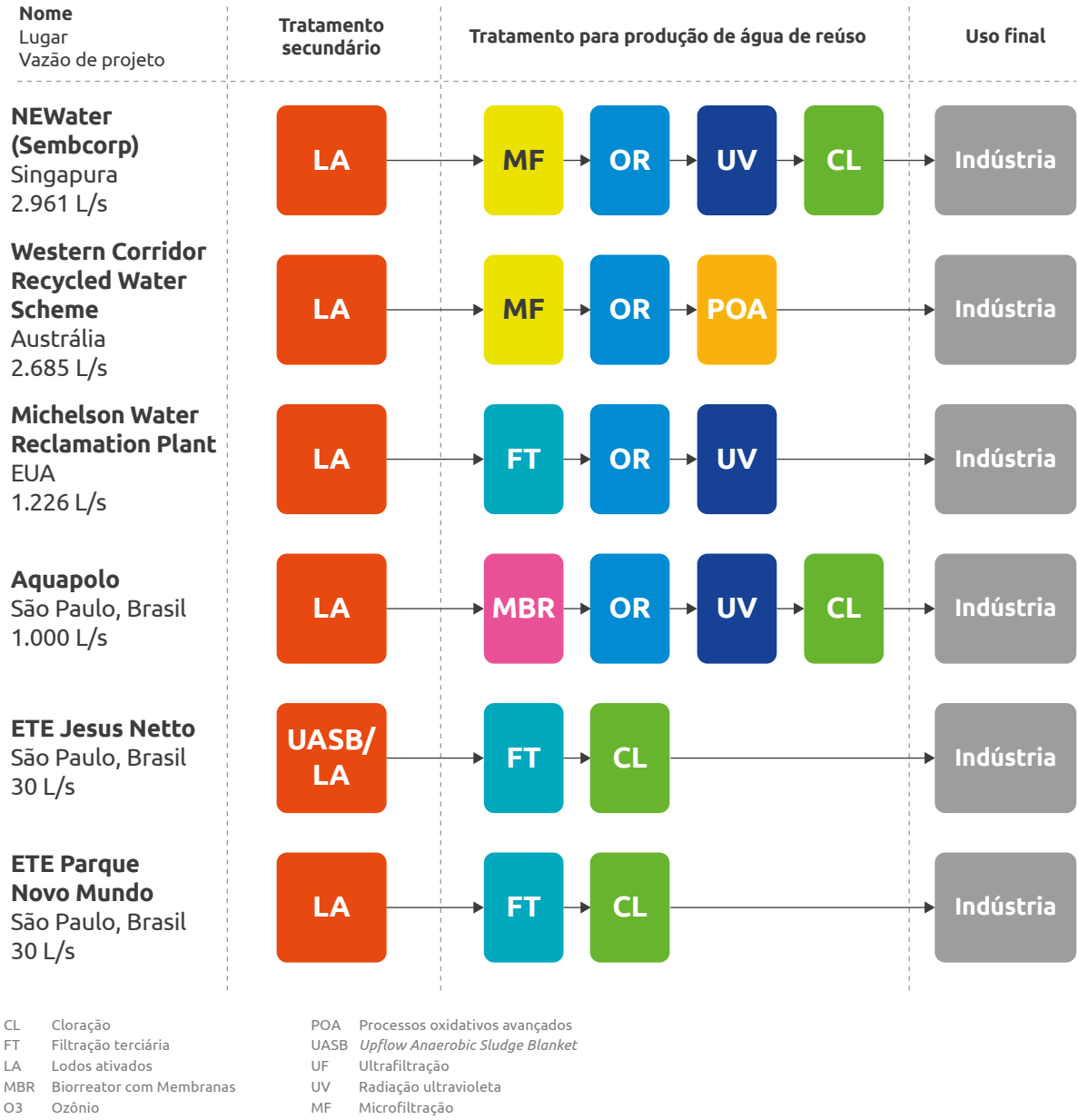
FIGURA 8 – Mapa com experiências de reúso industrial no mundo

Fonte: elaboração própria.

As principais experiências de reúso não potável industrial estão localizados em países como Singapura, EUA, Austrália, China e Brasil, com algumas experiências pontuais na África e Europa.

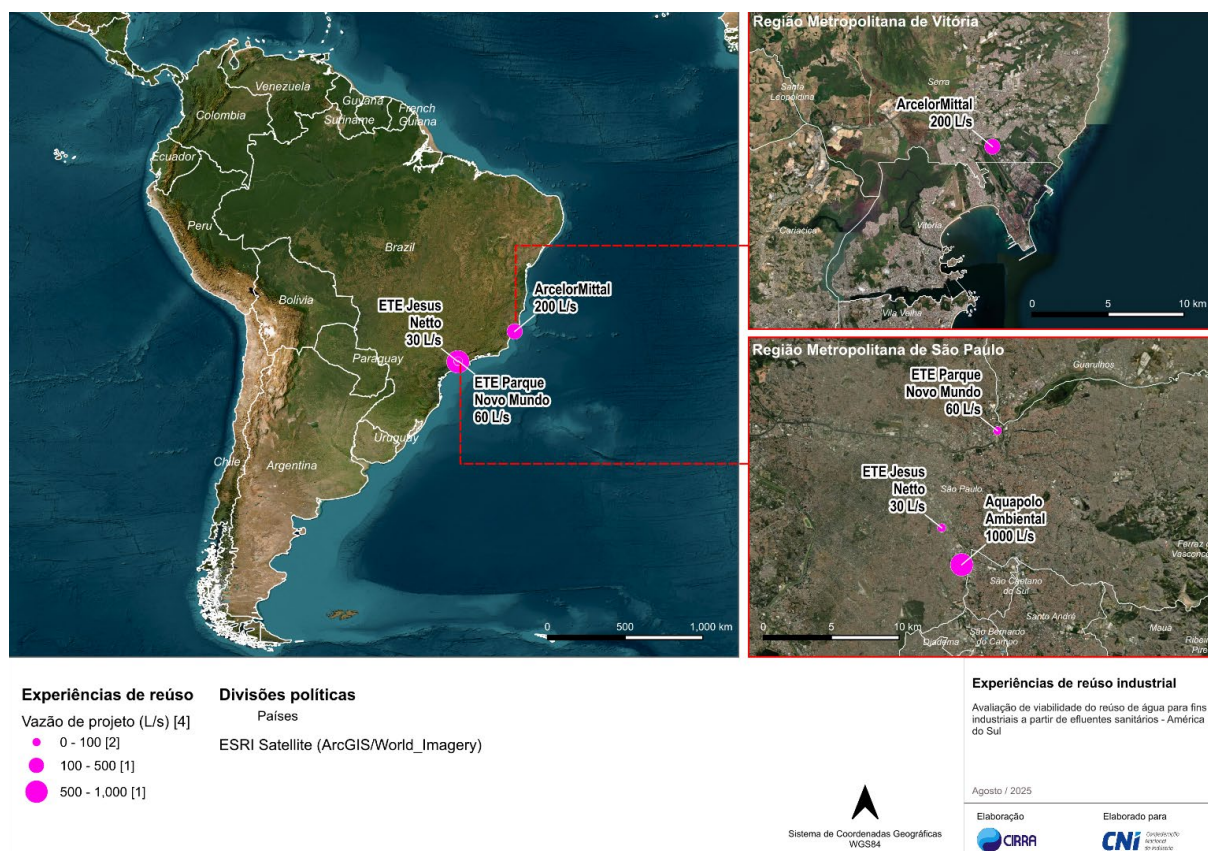
A Figura 9 destaca os principais processos de tratamento empregados em experiências de RNPd para fins industriais.

FIGURA 9 – Ilustração dos processos de tratamento aplicados para produção de água de reúso não potável direto de acordo com diferentes experiências mundiais



Fonte: elaboração própria.

O tipo de rota mais comum consiste na captação de esgoto de lodos ativados e utilização de MF/UF (micro/ultrafiltração), seguida de OR (osmose reversa), desinfecção por UV (radiação ultravioleta) e aplicação de cloro para manutenção de residual. Há arranjos que utilizam MBR para remoção adicional de matéria orgânica e nutrientes, POA (processo oxidativo avançado) para oxidação de compostos persistentes ou FT (filtração terciária), caso o padrão exigido não seja muito elevado.

FIGURA 10 – Localização de experiências de reúso industrial brasileiras

Fonte: elaboração própria.



3 METODOLOGIA

A metodologia adotada nos estudos é composta por duas abordagens diferentes: o método ETE-usuário (apresentado no Item 3.1) e o Índice de Aptidão de Reúso (Item 3.2). Essas abordagens buscam identificar as oportunidades de reúso a partir de perspectivas diferentes, porém complementares.

Um ponto central na utilização de ambas as metodologias está relacionado à qualidade, disponibilidade e dificuldade de obtenção de dados sobre a demanda de água e a coleta e tratamento de esgotos, assunto abordado em mais detalhes no Item 3.3.

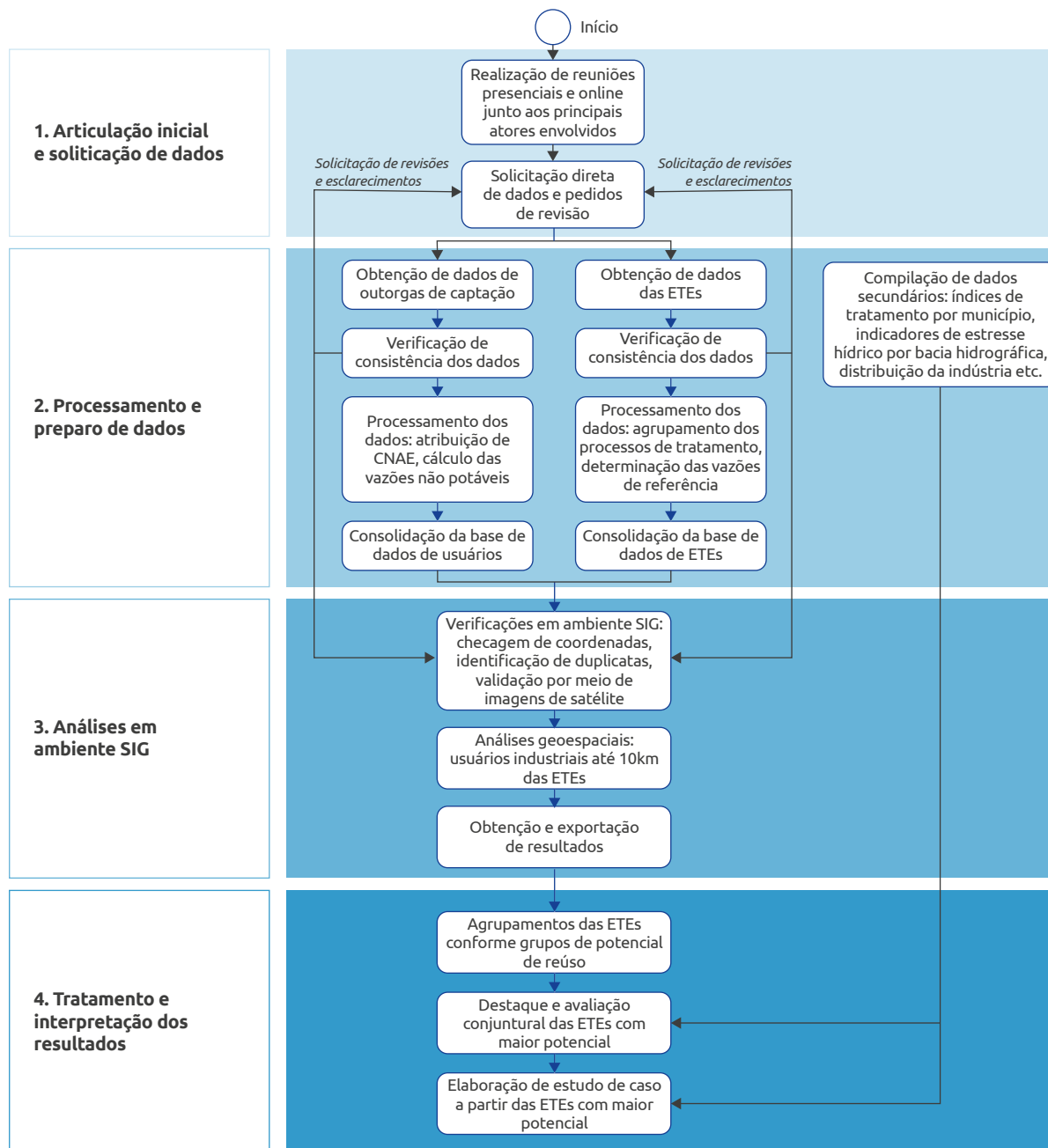
3.1 OPORTUNIDADES DE REÚSO POR ETE-USUÁRIO

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, 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 reúso a partir de futuras estações. Isso é realizado com o uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), já que um dos principais atributos a serem considerados no planejamento de reúso é a distância entre o local de produção de água de reúso e o usuário final.

O método adotado é composto, em linhas gerais, pelos procedimentos ilustrados no fluxograma da Figura 11.

FIGURA 11 – Método ETE-usuário: fluxograma metodológico



Fonte: elaboração própria.

A seguir, são apresentados alguns detalhamentos das principais etapas. Detalhes específicos sobre a questão de dados são abordados no Item 3.3.

3.1.1 ARTICULAÇÃO INICIAL E SOLICITAÇÃO DE DADOS

3.1.1.1 Realização de reuniões presenciais

Ao longo do desenvolvimento dos estudos, constatou-se que a realização de reuniões presenciais no início dos trabalhos é a estratégia mais eficaz de comunicação com os atores relevantes. Conforme explorado ao longo deste documento, a avaliação do potencial de reúso industrial exige certo nível de comprometimento e disponibilidade para ceder dados por parte de diferentes atores, principalmente das empresas de saneamento responsáveis pelo tratamento dos esgotos sanitários, as autoridades de gestão de recursos hídricos e concessão de outorgas de uso da água, e as indústrias, potenciais usuárias da água de reúso.

As verificações de integridade dos dados (Etapa 2) normalmente levam à necessidade de revisões e complementações pelos fornecedores dos dados. Por isso, o contato próximo durante a etapa de articulação é fundamental para garantir dados de qualidade.

Além disso, nos estados do Rio Grande do Sul e Alagoas, a articulação inicial resultou no estabelecimento de acordos de cooperação técnica entre a indústria e os atores locais, com o objetivo de atualizar as bases de dados dos estudos e viabilizar avaliações contínuas do potencial de reúso nos Estados.

3.1.1.2 Solicitação de bases de dados

Os dados de ETEs e outorgas são públicos, mas raramente estão disponíveis ao público de forma estruturada e íntegra. Mesmo dados relativamente simples (como vazões concedidas pelas outorgas, coordenadas geográficas, processos de tratamento das ETEs e vazões de projeto) requerem solicitação direta aos provedores.

Para organizar e direcionar a obtenção dos dados, são elaborados ofícios e planilhas padrão para que o provedor saiba exatamente que informações fornecer. Isso facilita a disponibilização, já que o provedor não precisa decidir quais dados serão enviados nem o formato da entrega. No ANEXO B são apresentados os formatos utilizados para solicitação de dados. As formas de requisição são:

- Para as ETEs, solicita-se às empresas de saneamento o preenchimento de uma planilha anexa. Caso contrário, os dados tendem a ser fornecidos de forma inconsistente, incompleta ou pouco clara. Vide planilha no ANEXO B.
- Para as outorgas, os produtores de dados geralmente já dispõem de planilhas próprias, com dezenas ou centenas de milhares de registros. Nesses casos, a solicitação destaca quais dados são considerados importantes e requer filtragem, para envio apenas das informações de interesse. Vide modelo de solicitação no ANEXO B.

3.1.2 PROCESSAMENTO E PREPARO DE DADOS

3.1.2.1 Verificação de consistência

Após o recebimento das bases de dados, realiza-se a verificação de sua consistência, levando em conta a natureza dos dados, o formato de fornecimento e os objetivos do estudo. Exemplos de verificações incluem:

- Vazões, períodos de captação e vazões de projeto (ou afluentes) das ETEs: ordem de grandeza, valores fora da faixa ou unidades diferentes dentro de uma mesma planilha.
- Datas de concessão ou vencimento de outorgas incompatíveis com a realidade.
- Uso de nomenclaturas, códigos ou nomes de colunas sem um dicionário de dados, dificultando a compreensão do conteúdo.
- Existência de duplicatas: atributos com nomes muito similares ou desatualizados.
- Excesso de registros nulos, principalmente em colunas importantes (vazões, coordenadas).
- Erros de grafia na identificação dos usuários/ETEs, municípios ou outras informações relevantes.
- Erros de coordenadas e/ou de sistemas de referência. Alguns erros são facilmente identificados mesmo fora do ambiente SIG, como latitude/longitude incompatível com o estado ou país.

Se necessário, os provedores são mais uma vez contatados para revisão dos dados ou esclarecimentos. Isso geralmente ocorre após verificações adicionais em ambiente SIG, conforme abordado adiante.

3.1.2.2 Processamento de dados

Após as verificações iniciais, os dados são tratados e complementados para uso. As etapas incluem homogeneização das unidades de vazão; adoção de identificação padronizada dos municípios (utilização do geocódigo numérico do IBGE); e garantia da consistência dos tipos de dados em cada coluna (assegurando que colunas do tipo decimal não contenham valores do tipo *string*, por exemplo).

Para o caso de outorgas de captação, exemplos de processamento são:

- Identificação da atividade econômica de cada usuário via nome ou CNPJ, usando Divisões, Classes e Subclasses da CNAE (ver Item 3.3.2.3).
- Como há muitos usuários, a priorização é dada aos de maiores vazões, para que 95- 98% da vazão total outorgada tenha sua atividade identificada. Nos estudos, 10-20% dos usuários concentravam 90–98% das vazões, enquanto os demais tinham pouca representatividade. Esse procedimento pode ser feito por cruzamento com bases da Receita Federal ou busca na internet.

Para ETEs, exemplos de processamento incluem:

- Determinação da Q_{ETE} ou vazão de referência da ETE. Nem sempre há dados de vazão de projeto, podendo ser adotada a vazão média afluenta, ou obtida a partir de outra base de dados. Detalhes no Item 3.3.3.1.
- Agrupamento dos processos de tratamento. Cada ETE tem especificidades, e lidar com muitos valores é inviável. Por isso, os processos são agrupados em dez grandes grupos: Preliminar/Primário, Lagoas, Lodos ativados e similares, Tratamento Terciário, entre outros (ver Item 3.3.3.2).

As bases são consolidadas em formato adequado (formato *csv*) ao uso em ambiente SIG, também para ferramentas de *Business Intelligence* (ver Item 4.3 sobre BI).

3.1.3 ANÁLISES EM AMBIENTE SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS)

3.1.3.1 Verificações em ambiente SIG

As principais análises de potencial de reúso são feitas em ambiente SIG, dada a natureza espacial do estudo. Todos os procedimentos são realizados no Quantum GIS (QGIS). Antes das análises, são feitas verificações adicionais apenas possíveis em ambiente SIG, o que pode exigir revisões por parte do provedor.

Para outorgas, as verificações incluem:

- Checagem com hidrografia para identificar erros nas coordenadas ou nas vazões informadas.
- Identificação de outorgas coincidentes ou próximas, indicando possível erro nas coordenadas.
- Padrões incomuns: outorgas muito elevadas em áreas típicas de baixa concessão podem indicar erro.

Para ETEs, verificações incluem:

- Checagem do processo de tratamento, confrontando a informação com imagem de satélite.
- Localização: coordenadas informadas podem estar distantes da ETE visível por satélite.
- *Status*: ETEs informadas como “em operação”, mas com área desocupada ou em obra, ou sendo vistas já construídas apesar de constarem “em projeto”.

3.1.3.2 Análises geoespaciais

É definido um *buffer* de raio 10 km em torno de cada ETE, formando uma área de influência. A Figura 12 mostra o exemplo do *buffer* em torno da ETE Nova São Miguel, em São Miguel dos Campos, Alagoas.

FIGURA 12 – Exemplo de aplicação do método ETE-usuário para o caso da ETE Nova São Miguel, em São Miguel dos Campos



Fonte: CNI (2025).

A precisão do *buffer* depende do tipo de sistema de coordenadas utilizado em coordenadas planas, a precisão é exata; em geográficas, o *buffer* exige relação entre graus e distância, gerando deformações conforme se afasta da Linha do Equador, especialmente relevante para regiões ao sul do continente.

A área de influência sobreposta às outorgas permite extração de informações diretamente em ambiente SIG. Realiza-se junção por atributo (área de influência) e soma das outorgas para cada área de influência da ETE.

O somatório das outorgas é denominado ΣQ_{out} , expresso em L/s, assim como a Q_{ETE} . Todos os usuários podem ser individualmente identificados e relacionados à base de outorgas.

3.1.4 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a extração dos resultados no ambiente SIG, as ETEs são agrupadas em grupos quanto ao potencial de reúso de oferta de água de reúso e demanda industrial próxima, conforme mostrado na Tabela 9.

TABELA 9 – Classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso

Grupo	Descrição	Critério	Característica
A	Alta oferta, alta demanda ETEs com alta vazão Q_{ETE} e altas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_{ETE} \geq 200 \text{ L/s}^*$ $\Sigma Q_{out} \geq 200 \text{ L/s}^*$	ETEs com maior potencial presente, dado que há disponibilidade de efluentes tratados e demandas próximas.
B	Alta oferta, baixa demanda ETEs com alta vazão Q_{ETE} e baixas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_{ETE} \geq 200 \text{ L/s}^*$ $\Sigma Q_{out} < 200 \text{ L/s}^*$	Potencial reside na oferta; convém planejar implantação de indústrias nas proximidades.
C	Baixa oferta, alta demanda ETEs com baixa vazão Q_{ETE} e com altas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_{ETE} < 200 \text{ L/s}^*$ $\Sigma Q_{out} \geq 200 \text{ L/s}^*$	ETEs de baixa capacidade, mas com demandas industriais elevadas por perto. Potencial de expansão ou modernização.
D	Baixa oferta, baixa demanda ETEs com baixa vazão Q_{ETE} e com baixas vazões industriais outorgadas num raio de 10km	$Q_{ETE} < 200 \text{ L/s}^*$ $\Sigma Q_{out} < 200 \text{ L/s}^*$	Baixo potencial de reúso, por baixa oferta e demanda.

* As vazões de corte podem variar conforme a área de estudo. Para Estados menores, valores mais baixos; para grandes, valores mais elevados. $Q_{ETE} = 200 \text{ L/s}$ e $\Sigma Q_{out} = 200 \text{ L/s}$ foram os adotados no estudo mais recente (Alagoas) e por isso apresentados para a exemplificação.

Q_{ETE} : vazão de referência da ETE (vide Item 3.3.3.1). ΣQ_{out} : somatório das vazões outorgadas para a indústria próximas à ETE.

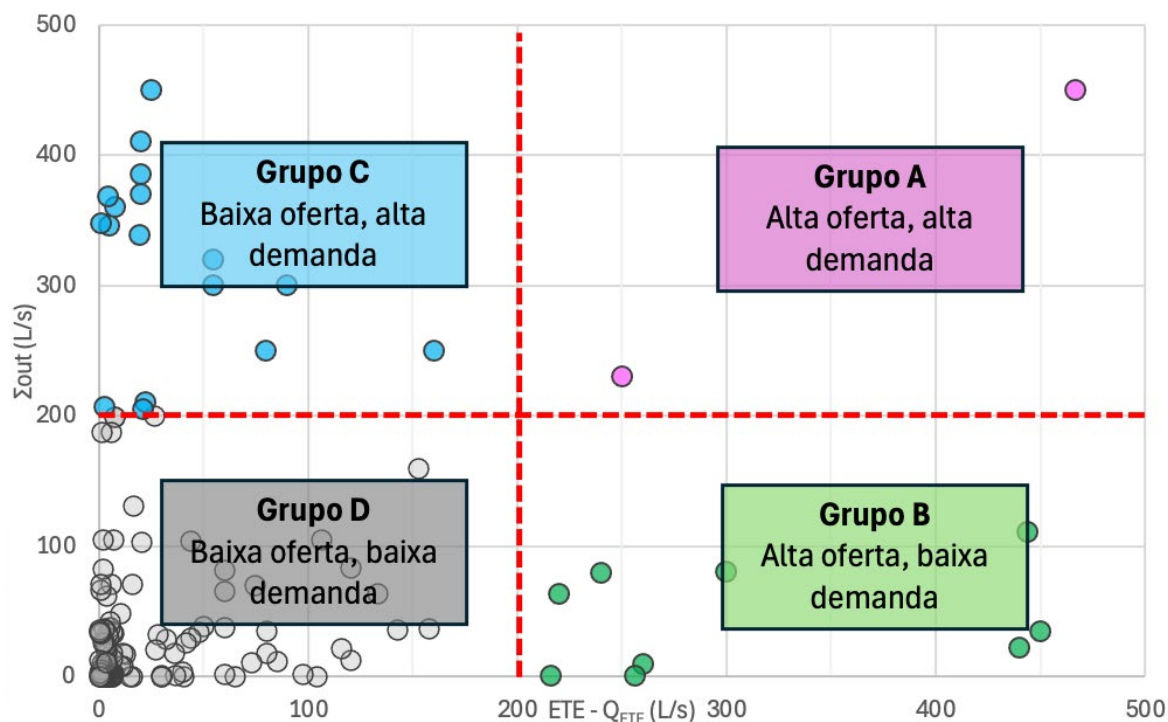
Fonte: elaboração própria.

Cada grupo representa um tipo de potencial de reúso, para facilitar a interpretação dos resultados e a tomada:

- As ETEs do Grupo A: potencial imediato de reúso, com convergência entre alta oferta de efluentes e demanda industrial relevante nas proximidades.
- Grupo B: há oferta, mas não usuários próximos; possíveis novos consumidores podem considerar água de reúso, incentivando o desenvolvimento econômico local.
- Grupo C: baixa oferta, próxima de usuários hidroatensivos; expansões podem ser consideradas para produção de água de reúso.
- Grupo D: menos prioritárias, geralmente, o grupo com maior número de estações.

A Figura 13 demonstra graficamente a classificação das ETEs conforme o potencial de reúso.

FIGURA 13 – Exemplificação dos grupos de classificação das ETEs conforme seu potencial de reúso



Nota 1: vazões de corte são $Q_{ETE} = 200$ L/s e $\Sigma Q_{out} = 200$ L/s.

Nota 2: pontos representados no gráfico são aleatórios e ilustrativos.

Nota 3: No eixo "x" está representada a vazão de ETE (Q_{ETE}) e no eixo "y" o somatório das vazões outorgadas circunscritas ao raio de 10 km.

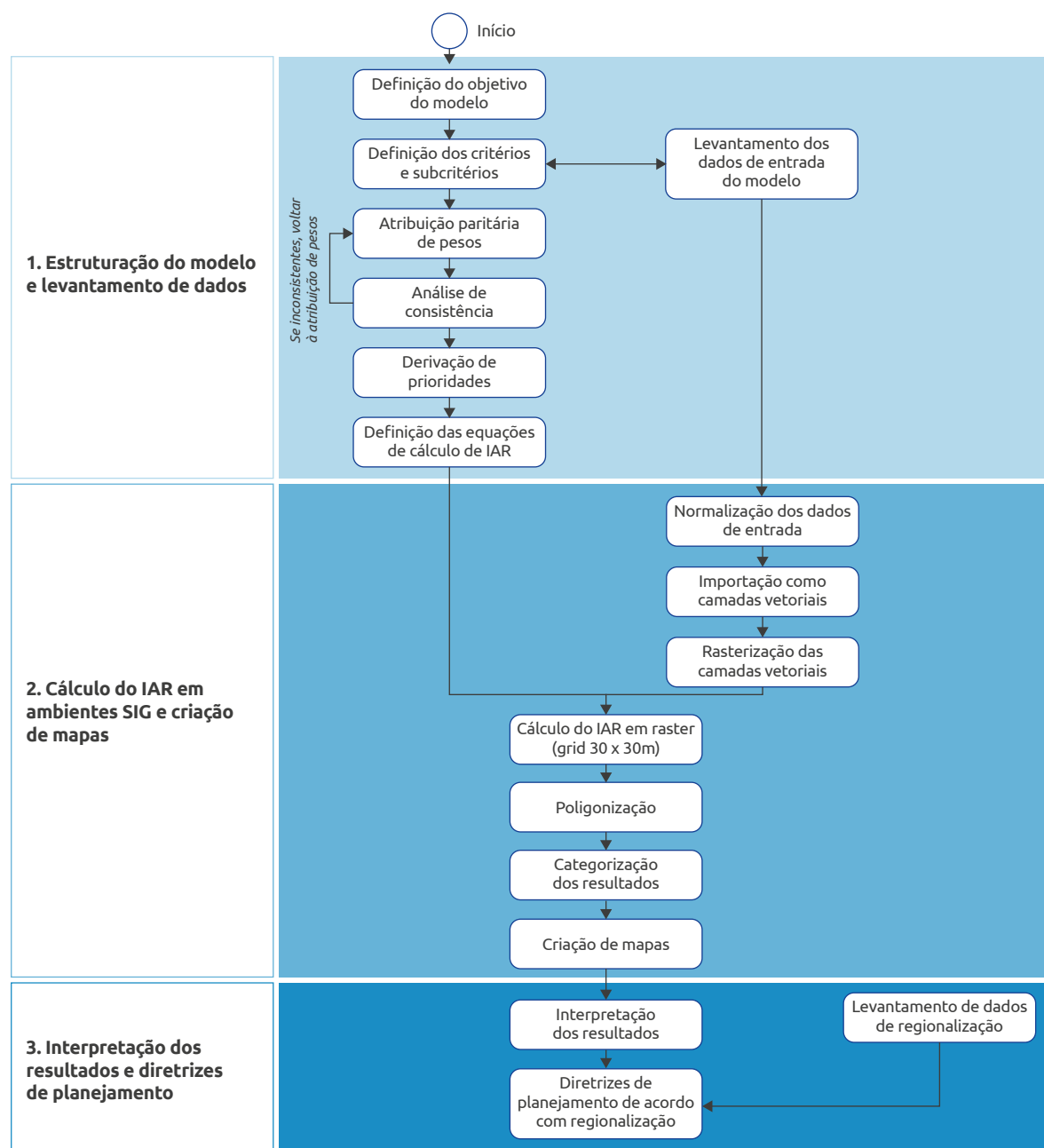
Fonte: elaboração própria.

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

O Índice de Aptidão de Reúso (IAR) é uma metodologia de análise multicritério que avalia o potencial de reúso de água de maneira abrangente, considerando unidades geográficas como municípios e microbacias hidrográficas. Essa abordagem utiliza o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para ponderar múltiplos fatores relevantes: intensidade da atividade industrial, demanda de água, geração de esgotos e crítica do balanço hídrico. Os dados são processados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), frequentemente com softwares como Quantum GIS (QGIS), permitindo espacialização e interpretação cartográfica dos resultados².

O modelo gera para cada área um valor numérico que expressa sua aptidão ao reúso de água em relação às demais, facilitando a priorização e a classificação territorial. A análise compara critérios e subcritérios, atribui pesos conforme a importância de cada fator e aplica uma normalização que, através de processamento computacional, permite visualizar e planejar o reúso industrial de modo estratégico para gestores públicos e tomadores de decisão. A Figura 14 ilustra o fluxo metodológico do IAR.

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

FIGURA 14 – IAR: fluxograma metodológico

Fonte: elaboração própria.

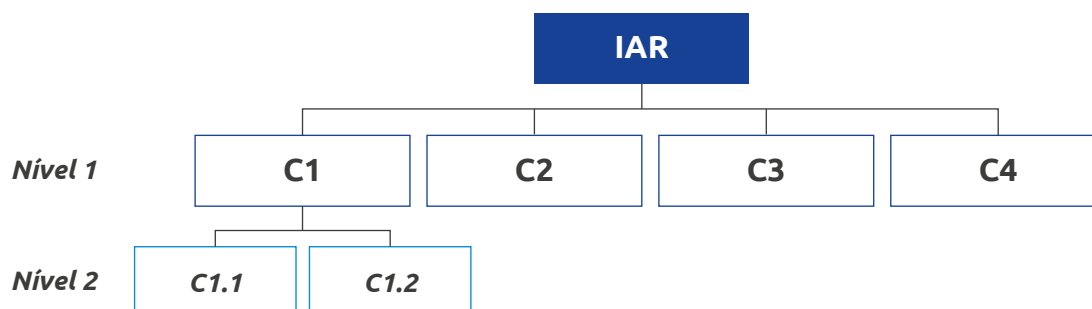
Informações adicionais sobre os procedimentos de estruturação do modelo do IAR estão apresentadas no ANEXO A.

3.2.1 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO E LEVANTAMENTO DE DADOS

O modelo foi estruturado considerando os seguintes aspectos:

- Tem como objetivo apresentar uma variável quantitativa que expressa a atratividade do reúso em determinada área.
- Utiliza como base o *Analytic Hierarchy Process* (AHP).
- É composto de critérios e subcritérios relevantes para a identificação de áreas aptas à prática de reúso industrial, escolhidos pela compreensão dos autores sobre fatores que influenciam o potencial de reúso e a disponibilidade de bases de dados atualizáveis.
- O modelo possui dois níveis: Nível 1 – critérios; Nível 2 – subcritérios. Apenas o critério C1 possui subcritérios.
- Cada critério recebe um peso (ou relevância), atribuído através de comparação paritária conforme o AHP. Procedimentos complementares de análise de consistência e derivação de prioridades são utilizados para determinar a importância de cada critério.
- Cada critério representa um atributo real expresso por uma variável qualitativa ou quantitativa (por exemplo, o valor da demanda industrial). Como os critérios possuem naturezas diferentes, adota-se um padrão único através do procedimento de normalização.
- A normalização converte os valores de cada critério para uma escala de 0 a 1, sendo 0 a condição menos desejável e 1 a mais desejável, realizada por transformação linear ou regra discreta específica.
- A partir das importâncias paritárias, procede-se à derivação de prioridades, resultando nos pesos globais dos critérios.
- A partir dos pesos e valores normalizados, o IAR é calculado para cada região pela soma dos produtos entre critérios e valores normalizados.
- A comparação dos valores do IAR nas regiões indica aquelas com maior atratividade para o reúso. Quanto maior o IAR, mais apta é a área ao reúso.

O modelo é composto por quatro critérios e dois subcritérios considerados relevantes para o cálculo da aptidão de reúso de cada região, conforme mostra a Figura 15.

FIGURA 15 – 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
C1.2	Subcritério 1.2: VAB industrial – variação % nos últimos 10 anos
C2	Critério 2: Demandas de água pela indústria
C3	Critério 3: Geração de Esgotos
C4	Critério 4: Balanço Hídrico Qualiquantitativo

Fonte: CNI (2025).

A Tabela 10 resume as principais características dos critérios e subcritérios adotados.

TABELA 10 – Detalhes sobre os critérios e subcritérios que compõem o IAR

Critério	Nome	Unidade	Unidade geográfica	Justificativa e uso
C1	Valor Adicionado Bruto (VAB) industrial	10 ⁶ BRL/ano	Município	<p>O VAB é usado como indicador da intensidade da atividade industrial, partindo do pressuposto de que áreas com maior atividade industrial têm maior aptidão para o reúso. São considerados dois subcritérios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • C1.1: VAB industrial em 2021, valor em milhões de reais por ano, indicando a intensidade da atividade naquele ano. • C1.2: Variação percentual do VAB industrial nos últimos 10 anos (2011-2021), indicando a tendência do setor na região. <p>Esses dados são disponibilizados por município, viabilizando o uso para a análise do IAR.</p>
C2	Demandas de água industriais	L/s	Município / microbacia hidrográfica	<p>As demandas industriais são um dos principais fatores para a aptidão ao reúso industrial. No cálculo do Índice de Aptidão de Reúso (IAR), foram consideradas as vazões médias outorgadas para fins industriais, agregadas por município. O pressuposto: quanto maiores as demandas de água pela indústria, maior será a aptidão ao reúso na região.</p> <p>A demanda é obtida pelo somatório das outorgas industriais, sendo possível o agrupamento por qualquer unidade geográfica representável por polígonos. Nos estudos realizados, utilizou-se o município como recorte geográfico, porém o uso de microbacias hidrográficas também é viável e será adotado em versões futuras do modelo.</p>

Critério	Nome	Unidade	Unidade geográfica	Justificativa e uso
C3	Geração de esgotos	L/s	Município	A obtenção de água de reúso depende fundamentalmente da disponibilidade de efluentes sanitários em cada município. No Índice de Aptidão de Reúso (IAR), quanto maior a geração de esgotos sanitários, maior será a aptidão para reúso industrial dessa área. Os dados utilizados vêm de registros municipais, não sendo possível adotar recortes geográficos mais detalhados no modelo atual.
C4	Balanço hídrico quali-quantitativo	Sem unidade (qualitativo)	Microbacia hidrográfica	O balanço hídrico qualiquantitativo é um critério que avalia conjuntamente aspectos quantitativos (como a relação entre a vazão retirada e a disponibilidade hídrica natural) e qualitativos (como o comprometimento da qualidade dos mananciais, considerando parâmetros como concentração de poluentes, DBO, OD, nitrogênio, fósforo e coliformes). Trata-se de uma análise integrada que considera tanto os volumes quanto a qualidade da água disponível em cada microbacia hidrográfica. Quanto mais crítica for a situação desse balanço (ou seja, quanto menor a disponibilidade ou pior a qualidade da água), mais importante e necessária se torna a diversificação das fontes de abastecimento — portanto, maior a aptidão ao reúso industrial. Esses dados são coletados por microbacia hidrográfica, sem possibilidade de recortes geográficos mais detalhados dentro do modelo.

Fonte: elaboração própria.

Esses critérios contemplam temas relevantes para a avaliação do potencial de reúso e utilizam bases de dados disponíveis e frequentemente atualizadas no Brasil. O modelo pode ser adaptado para outros países, buscando-se equivalências conforme a disponibilidade de dados locais.

Cada critério e subcritério recebe um peso paritário, conforme a metodologia *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, incluindo análise de consistência e derivação de prioridades. Os valores finais dos pesos globais dos critérios principais (Nível 1) e dos subcritérios (Nível 2) são determinados e apresentados em tabelas específicas (Tabela 11 e Tabela 12, detalhadas no ANEXO A do estudo).

TABELA 11 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 1 – Critérios

Sigla	Critério	Escala	Unidade	Peso global (w)
C1	VAB industrial	Município	10 ⁹ BRL/ano	0,269
C2	Demanda industrial	Município / Microbacia hidrográfica	L/s	0,381
C3	Esgoto gerado	Município	L/s	0,222
C4	Balanço hídrico	Microbacia hidrográfica	-	0,128

Fonte: elaboração própria.

TABELA 12 – Matriz de importâncias dos critérios – Nível 2 – Subcritérios

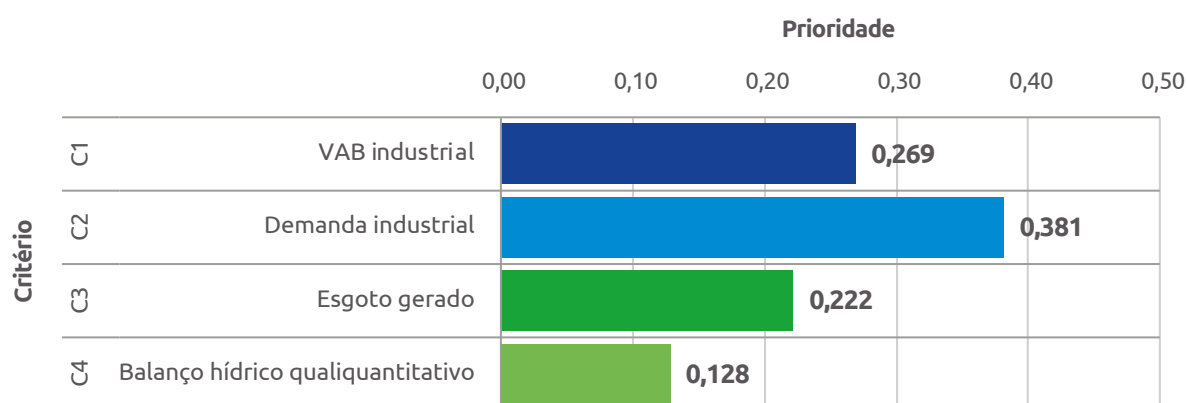
Sigla	Subcritério	Escala	Unidade	Peso local (w)
C1.1	VAB industrial no ano analisado	município	10 ⁹ BRL/ano	0,750
C1.2	Variação % do VAB industrial nos últimos 10 anos	município	%	0,250

Fonte: elaboração própria.

A atribuição dos pesos dos critérios e subcritérios é realizada com base na percepção dos criadores do modelo sobre a relevância dos atributos para o potencial de reúso e pode ser ajustada conforme necessidade, desde que sejam respeitados os critérios de consistência interna previstos na metodologia *AHP*.

No caso do Nível 1, o critério C1 (VAB industrial) representa 0,269 (ou 26,9%) do peso total dos critérios, e valores similares são aplicados aos demais critérios de acordo com sua relevância. O peso global (*w*) corresponde à importância total do critério em relação aos demais e varia entre 0 e 1. Para os subcritérios C1.1 e C1.2, os pesos apresentados são locais, sendo que os pesos globais são obtidos multiplicando pelo peso global do critério pai (C1). A Figura 16 ilustra graficamente a distribuição das prioridades dos critérios (Nível 1).

FIGURA 16 – Representação gráfica das prioridades do Critérios (Nível 1) do modelo IAR



Fonte: elaboração própria

Para aplicação no modelo e obtenção do IAR, os valores brutos de cada critério devem ser normalizados, por transformação linear, para uma escala de 0 (zero) a 100 (cem), conforme é mostrado no ANEXO A.

A partir dos valores normalizados (*N*) e dos pesos (*w*) atribuídos a cada critério, o Índice de Aptidão de Reúso é calculado conforme a Equação 1:

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

Equação 1

Onde
 IAR é o Índice de Aptidão de Reúso (IAR),
 N_{Ci} é o valor normalizado para o critério "Ci",
 w_i é o peso do critério "Ci", e
 n é a quantidade de critérios

Utilizando os pesos apresentados na Tabela 11 na Equação 1, o IAR, então, é calculado pela Equação 2:

$$IAR = 0,269N_{c1} + 0,381N_{c2} + 0,222N_{c3} + 0,128N_{c4}$$

Equação 2

Onde IAR é o Índice de atratividade de reúso, N_{c1} , N_{c2} , N_{c3} , N_{c4} são os valores normalizados dos critérios Valor Adicionado Bruto Industrial, demanda industrial, geração de esgotos e balanço hídrico qualiquantitativo, respectivamente. Os coeficientes representam os pesos atribuídos a cada critério.

O Índice de Aptidão de Reúso (IAR) gera valores entre 0 e 1 para cada área avaliada. Para facilitar a interpretação dos resultados, são definidos grupos de IAR, conforme apresentado na Tabela 13, que geralmente utiliza as faixas a seguir:

TABELA 13 – Classificação dos valores de IAR

Grupo de IAR	Valores de IAR
Muito baixo	$IAR \leq 0,05$
Baixo	$0,05 < IAR \leq 0,10$
Médio	$0,10 < IAR \leq 0,25$
Alto	$0,25 < IAR \leq 0,50$
Muito alto	$IAR > 0,50$

Fonte: CNI (2025).

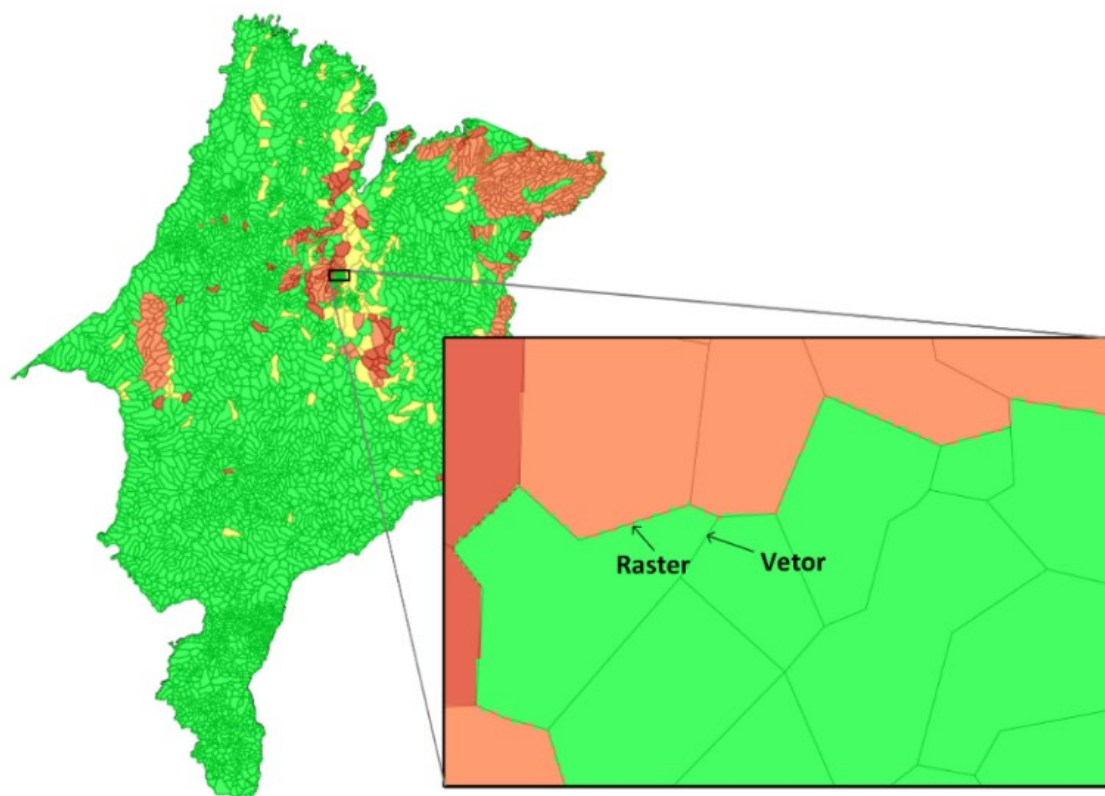
Esses grupos permitem classificar áreas conforme sua aptidão, facilitando a análise comparativa e o planejamento para o reúso de água.

3.2.2 CÁLCULO DO IAR EM AMBIENTE SIG E CRIAÇÃO DE MAPAS

O cálculo do Índice de Aptidão de Reúso (IAR) em ambiente SIG utiliza ferramentas que executam fórmulas a partir das variáveis espaciais dos critérios. Como cada critério pode ser apresentado em unidades geográficas diferentes — por exemplo, o VAB industrial (C1) em municípios e o balanço hídrico (C4) em microbacias — se faz necessária a padronização espacial dos dados.

Esse ajuste é realizado por meio da “rasterização”, que converte os atributos vetoriais em imagens *raster* compostas por *pixels*. A rasterização permite que todos os dados sejam comparados em pequenas porções padronizadas de território; cada *pixel*, na resolução adotada, representa uma área de aproximadamente 30 x 30 metros (*grid* 30x30). A Figura 6 exemplifica esse processo, demonstrando a transformação de camadas vetoriais em matriz *raster* para análise conjunta dos critérios.

FIGURA 17 – Comparação entre camadas vetoriais e raster de balanço hídrico por microbacia hidrográfica



Fonte: elaboração própria. Mapa do Estado do Maranhão, apresentado em CNI (2021).

O IAR é calculado para cada pixel (30 x 30 m), representado em uma camada raster. Em seguida, essa camada é convertida em camada vetorial (poligonização), agrupando pixels conforme proximidade e valor. Dessa forma, a categorização dos resultados pode ser feita segundo os grupos estabelecidos na Tabela 13, também em ambiente SIG.

Com isso, surgem recortes geográficos diferentes dos municípios, microbacias ou outras camadas originais, uma vez que o agrupamento reflete o valor de IAR obtido espacialmente.

3.2.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS E DIRETRIZES DE PLANEJAMENTO

Os mapas produzidos avaliam todo o território estadual em função do IAR, atribuindo valores mais altos às regiões com maior aptidão. Para analisar o território de modo objetivo e claro, adota-se uma divisão geográfica estratégica já praticada no estado, como zoneamentos, regiões de planejamento ou distritos. Isso visa facilitar a proposição de diretrizes de planejamento e a compreensão, por parte dos tomadores de decisão, das áreas prioritárias para o reúso industrial.

O critério de regionalização muda conforme o estado e depende da disponibilidade de dados e das práticas de planejamento do Poder Público. Por exemplo, no Maranhão são usadas as zonas do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE); no Rio Grande do Sul, as regiões dos COREDEs; em Alagoas, as Regiões de Planejamento.

Com base nessa regionalização, são avaliadas as potencialidades do reúso em cada unidade, identificando tanto os maiores valores de IAR como as características específicas dessas áreas. Algumas regiões apresentam IAR elevado devido à alta demanda industrial (C2), enquanto outras combinam altos valores de VAB Industrial (C1), geração de esgoto (C3) e balanço hídrico crítico (C4), por exemplo.

3.3 TÓPICOS ESPECÍFICOS SOBRE DADOS E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Um ponto central na elaboração dos estudos refere-se à obtenção e uso dos dados. As áreas de recursos hídricos e saneamento frequentemente enfrentam dificuldades persistentes na gestão e disponibilidade de informações, fato reconhecido por profissionais e pesquisadores do setor. A centralidade do tema é tal que, no 8º Fórum Mundial da Água, um dos principais eixos debatidos foi justamente o relacionado a dados sobre água, a chamada *water-related data*.

Por esse motivo, este item apresenta pontos essenciais sobre a obtenção e utilização dos dados, tanto para o método ETE-usuário quanto para o método IAR, ressaltando questões de qualidade, integridade, atualização e estruturação, todos fundamentais para resultados confiáveis em análises de reúso de água.

3.3.1 FONTES DE DADOS

As principais bases de dados utilizadas para os estudos realizados no Brasil, bem como suas respectivas fontes e formas de obtenção, estão apresentadas na Tabela 14.

TABELA 14 – Bases de dados utilizadas nos estudos

Tipo	Nome	Produtor / fonte	Tipo de acesso
Usos de água e recursos hídricos	Outorgas de captação para fins industriais	<ul style="list-style-type: none"> Autoridades estaduais para outorgas estaduais Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para outorgas federais 	<ul style="list-style-type: none"> Outorgas estaduais: solicitação direta às autoridades estaduais. Modelo de solicitação no ANEXO B. Outorgas federais: Outorgas emitidas — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
	Balanços hídricos	<ul style="list-style-type: none"> Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) Secretarias estaduais de meio ambiente e/ou recursos hídricos ou agências de bacia hidrográfica 	<ul style="list-style-type: none"> SNIRH da ANA: Balanço hídrico — Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos Sites de agências e autoridades estaduais (variam de acordo com o estado)
	Hidrografia	<ul style="list-style-type: none"> Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) Secretarias estaduais de meio ambiente e/ou recursos hídricos 	<ul style="list-style-type: none"> SNIRH da ANA: Divisão hidrográfica — Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

Tipo	Nome	Produtor / fonte	Tipo de acesso
Saneamento básico	Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas de saneamento • Atlas Esgotos, elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para as demais ETEs (sistemas de menor capacidade e/ou não informados pelas empresas de saneamento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dados fornecidos diretamente pelas empresas de saneamento. Modelo de solicitação no ANEXO B. • Dados do Atlas Esgotos: Catálogo de Metadados da ANA – Atlas Esgotos
	Índices de coleta e tratamento de esgotos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SINISA) do Ministério das Cidades 	<ul style="list-style-type: none"> • Série histórica SNIS: SNIS - Série Histórica
Indústria	Valor Adicionado Bruto (VAB) pela indústria por município	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 	<ul style="list-style-type: none"> • Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios: Produto Interno Bruto dos Municípios IBGE
	Dados sobre atividade da indústria	<ul style="list-style-type: none"> • Perfil das indústrias por estado 	<ul style="list-style-type: none"> • Confederação Nacional da Indústria: CNI - Perfil da Indústria nos Estados

Fonte: elaboração própria

3.3.2 DEMANDAS INDUSTRIAIS DE ÁGUA

3.3.2.1 *Uso de outorgas de captação para caracterização das demandas industriais*

Tanto para o método ETE-usuário quanto para o cálculo do IAR, as demandas de água industrial foram identificadas a partir dos registros de outorgas de captação (subterrânea e superficial) concedidas por autoridades estaduais e pela ANA. Existem limitações conhecidas associadas ao uso desses dados de outorga. Destacam-se especialmente:

- A vazão outorgada equivale à quantidade concedida, não necessariamente à efetivamente utilizada pelo usuário.
- Não há garantia de que todas as captações estejam outorgadas; há casos de uso clandestino.
- Outorgas não registram usuários de pequeno porte que consomem água diretamente das redes públicas.
- Estados apresentam diferentes níveis de qualidade e confiabilidade dos dados cadastrais de outorgas.

Apesar dessas limitações, as outorgas continuam sendo a fonte mais adequada para caracterização das demandas industriais nos estudos de potencial de reúso, porque:

- a) Permitem geolocalização precisa das demandas por ponto coordenado, essencial para análises espaciais detalhadas e identificação de atividade econômica principal.

- b) As vazões outorgadas, por serem superiores às efetivamente extraídas, refletem o potencial máximo de demanda, indicando ainda demandas futuras potenciais.
- c) Outorgas são um dos principais instrumentos de gestão hídrica, presentes e frequentemente atualizados em todo o país.

3.3.2.2 Cálculo da vazão média demandada

Para utilização dos dados de outorga, definiu-se que seria utilizada a vazão média anual, calculada como o volume total de captação autorizado distribuído ao longo do ano. Frequentemente, as outorgas trazem vazões de captação distintas para cada mês, especificando ainda o número máximo de dias por mês e de horas por dia de captação. Por exemplo, se para março a outorga é de 50 m³/h, por 22 dias/mês e 20 horas/dia, a vazão média do mês é de $50 \times 22 / 30 \times 20 / 24 = 30,6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Esse cálculo é realizado mês a mês e, assumindo-se 365 dias/ano, chega-se ao valor da vazão média anual, que é o parâmetro efetivamente utilizado nos estudos. Quando os dados de outorga não trazem especificação mensal, de dias ou horas, presume-se que a captação pode ocorrer 365 dias/ano e 24 horas/dia, considerando assim a vazão outorgada como uma média constante anual.

3.3.2.3 Atribuição de atividade econômica

Para cada usuário, é atribuída uma atividade econômica industrial usando o CNPJ do requerente e a tipologia da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). São contempladas, segundo a Tabela 15, as seguintes seções relevantes para uso industrial:

TABELA 15 – Seções e divisões CNAE 2.0 contempladas nos estudos

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: IBGE | Concla | Busca online

Essas categorias abrangem as principais atividades industriais relacionadas ao uso de água conforme a organização da CNAE 2.0.

Em alguns casos, quando possível realizar um aprofundamento, também foram identificados níveis mais detalhados das atividades, alcançando o nível de subclasse da CNAE. Esse detalhamento permite uma caracterização muito mais precisa dos usos de água industrial de cada usuário. A Tabela 16 apresenta um excerto da estrutura da CNAE para um grupo específico,

como o Grupo 10.1 – Abate e fabricação de produtos de carne, detalhando divisões, grupos, classes e subclasses dentro desse segmento.

TABELA 16 – Estrutura CNAE para a Divisão 10, Grupo 10.1

Códigos					Denominação
Seção	Divisão	Grupo	Classe	Subclasse	
C					INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO
	10				FABRICAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS
		10.1			Abate e fabricação de produtos de carne
			10.11-2		Abate de reses, exceto suínos
				1011-2/01	Frigorífico – abate de bovinos
				1011-2/02	Frigorífico – abate de equinos
				1011-2/03	Frigorífico – abate de ovinos e caprinos
				1011-2/04	Frigorífico – abate de bufalinos
				1011-2/05	Matadouro – abate de reses sob contrato, exceto abate de suínos
			10.12-1		Abate de suínos, aves e outros pequenos animais
				1012-1/01	Abate de aves
				1012-1/02	Abate de pequenos animais
				1012-1/03	Frigorífico – abate de suínos
				1012-1/04	Matadouro – abate de suínos sob contrato
			10.13-9		Fabricação de produtos de carne
				1013-9/01	Fabricação de produtos de carne
				1013-9/02	Preparação de subprodutos do abate

Fonte: IBGE | Concla | Busca online.

3.3.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETEs)

A identificação da oferta potencial de esgotos para reúso é baseada principalmente em dados das ETEs, coletados via empresas operadoras de saneamento e complementados pelo Atlas Esgotos. O Atlas Esgotos, iniciativa da Agência Nacional de Águas (ANA), fornece uma base nacional integrada sobre ETEs, reunindo informações sobre localização, processos de tratamento e capacidade instalada, mas ainda contém diversas lacunas, inconsistências e desatualizações, especialmente em municípios e ETEs de pequeno porte.

Por isso, sempre que possível, prioriza-se o contato direto com as empresas operadoras para solicitação e padronização dos dados, geralmente através de planilhas estruturadas (apresentadas no ANEXO B dos estudos). Esse procedimento agiliza o recebimento e melhora a qualidade dos dados informados pelas companhias, otimizando a caracterização das ofertas de esgoto a serem consideradas no estudo de reúso.

3.3.3.1 Vazão de referência da ETE (Q_{ETE})

Para garantir clareza e precisão, a definição da “vazão de referência da ETE” (Q_{ETE}) utiliza os seguintes critérios e conceitos, incluindo nota explicativa sobre a vazão afluyente³:

A Q_{ETE} representa uma única variável para análise do potencial de oferta de esgoto das estações.

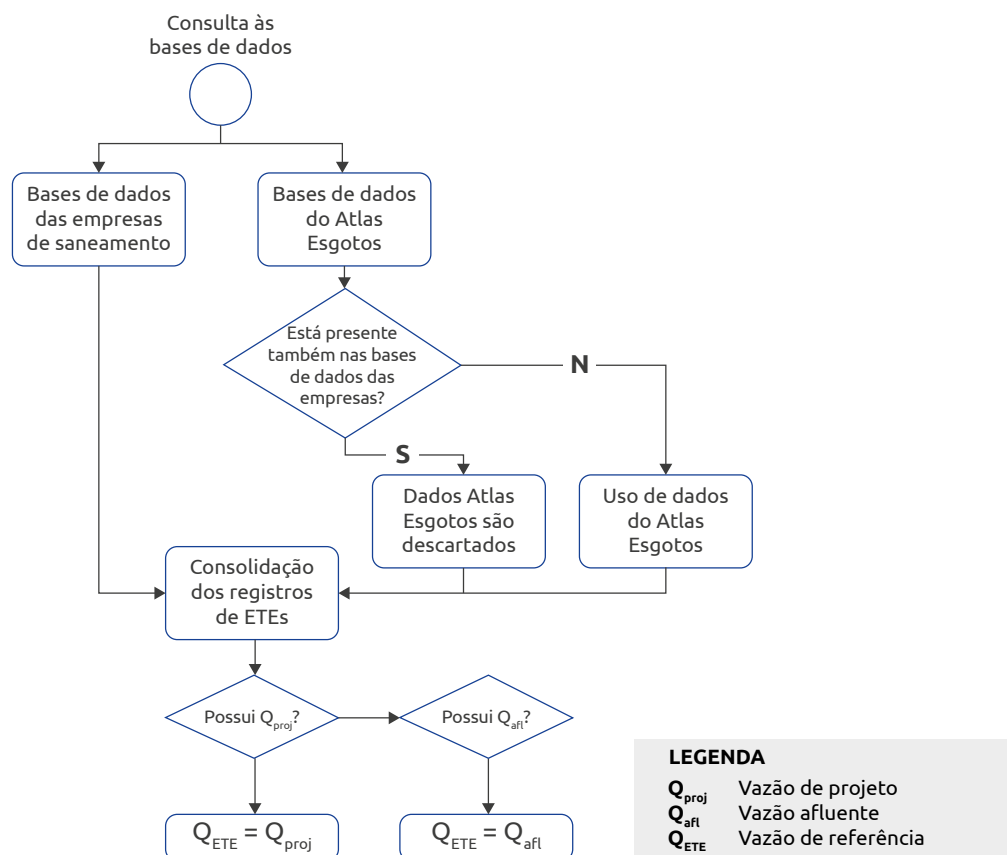
Prioriza-se o uso de dados fornecidos diretamente pelas companhias de saneamento, por serem mais atualizados. O Atlas Esgotos complementa, embora traga menos precisão.

A escolha do valor de referência segue esta ordem: inicialmente, utiliza-se a vazão de projeto (Q_{proj}), que é a capacidade máxima da ETE; caso ausente, recorre-se à vazão afluyente (Q_{afl}), que corresponde à vazão média que chega à estação.

O Atlas Esgotos, em sua versão mais recente, não apresenta dados de vazão das ETEs. Assim, para as estações presentes apenas nesta base, considera-se Q_{ETE} igual a zero.

A Figura 18 ilustra como se define a Q_{ETE} a partir dessas fontes e critérios.

FIGURA 18 – Fluxograma para determinação da Q_{ETE} (vazão de referência) das ETEs



Fonte: elaboração própria.


³ A vazão afluyente é a vazão média de esgoto que chega à ETE. Prefere-se, no entanto, a utilização da vazão de projeto, já que ela reflete o limite máximo de tratamento da unidade, sendo, portanto, mais adequada para fins de planejamento estratégico, assim como ocorre no caso do uso das vazões de outorgas para demandas industriais.

3.3.3.2 Agrupamento dos processos de tratamento

Para uniformizar a classificação dos processos de tratamento utilizados nas ETEs, adota-se um agrupamento simplificado, já que os dados brutos informam dezenas de variações tecnológicas com pequenas diferenças de rota ou resultado. Os processos informados nas bases de dados são, então, reunidos em dez grupos com base na qualidade de efluente possível de ser atingida, considerando principalmente os parâmetros de remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes.

A Tabela 17 apresenta esses grupos, facilitando a análise comparativa e a identificação do potencial de reúso segundo o nível de tratamento alcançado por cada ETE.

TABELA 17 – Agrupamento de processos de tratamento das ETEs

Qualidade efluente tratado	Grupo	Exemplos de processos presentes nas bases de dados (não exaustivo)
<p>Maior qualidade</p>  <p>Menor qualidade</p>	Terciário	Processos biológicos aeróbios com etapas de remoção de nutrientes e/ou separação avançada de sólidos (filtração terciária ou membranas de MF/UF). Biomassa granular (Nereda®)
	Lodos ativados e similares	Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) CFIC® (Continuous Flow Intermittent Cleaning) Integrated Fixed film Activated Sludge (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) Filtro Biológico Percolador (FBP) Biodisco
	Físico-químico	Flotação por ar dissolvido Decantação secundária quimicamente assistida
	Lagoas	Lagoas aeróbias + lagoa decantação Lagoa aerada facultativa Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa Lagoa facultativa
	UASB e/ou outros processos anaeróbios	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (UASB) Reatores anaeróbios
	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
	Outros	Não especificado/não informado

Fonte: elaboração própria.

É fato que o grupo “Lodos ativados e similares” inclui ETEs com processos, eficiências e resultados bastante distintos, pois variam aspectos como qualidade do efluente bruto, rotina operacional, projeto, equipamentos, manutenção, automação e experiência dos operadores.

Porém, de maneira geral, a qualidade média do efluente tratado por sistemas de lodos ativados é superior àquela alcançada por sistemas somente anaeróbios – e, por sua vez, estes superam sistemas primários –, justificando dessa forma a simplificação dos agrupamentos adotados. Esse padrão guarda relação direta com os mecanismos de remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes característicos de cada rota tecnológica.



4 EXEMPLIFICAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

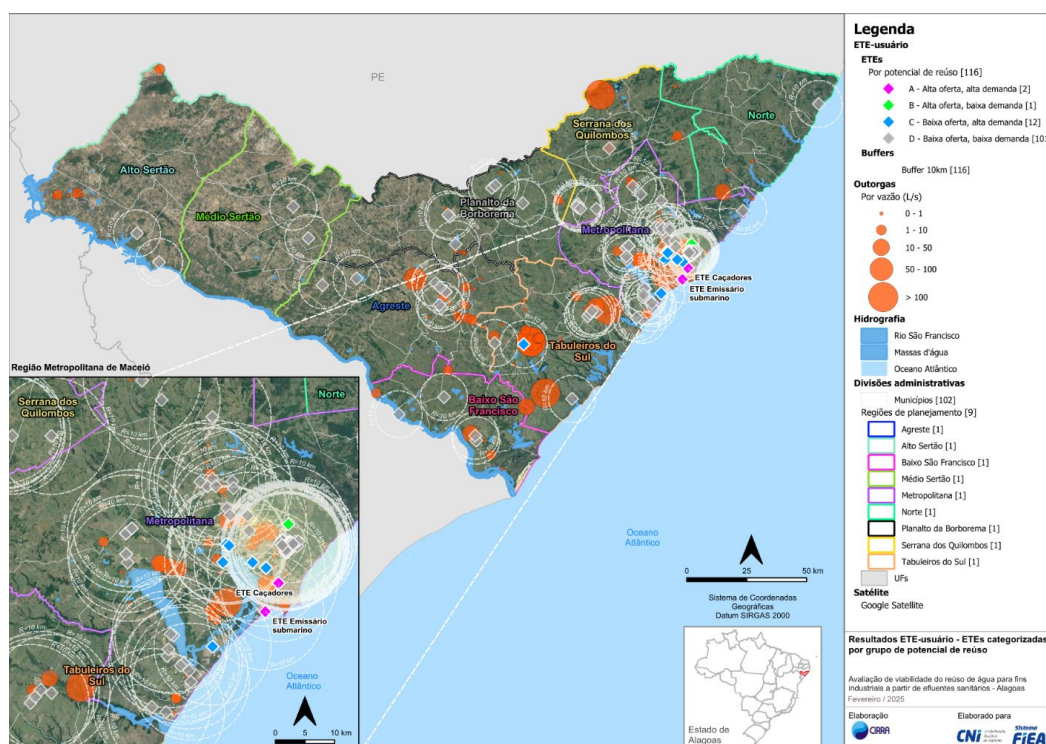
Neste capítulo são exemplificados os resultados obtidos a partir da aplicação das duas metodologias apresentadas anteriormente, o modelo ETE-usuário (explicado no Item 3.1) e o IAR (explicado no Item 3.2). O estudo mais recente foi o de Alagoas, finalizado em 2025. Como se trata do estudo mais atual, as metodologias e abordagens adotadas são mais refinadas do que as dos demais estudos, motivo pelo qual serão apresentados detalhes desse estado com maior profundidade.

4.1 OPORTUNIDADES DE REÚSO PELO MODELO ETE-USUÁRIO

Os principais resultados do modelo ETE-usuário são os mapas de sobreposição entre ETEs e usuários industriais, além do agrupamento das ETEs segundo o potencial de reúso.

A Figura 19 ilustra o mapa de sobreposição das ETEs e das outorgas para o estado de Alagoas, demarcando os raios de 10 km em torno das estações. Destaca-se a Região Metropolitana de Maceió, devido à elevada concentração tanto de ETEs quanto de indústrias.

FIGURA 19 – Sobreposição ETEs, outorgas e raio de 10km em torno das ETEs – estado de Alagoas



Fonte: CNI (2025).

Os locais de proximidade entre ETEs e usuários industriais concentram-se na Região Metropolitana de Maceió e na Região de Planejamento de Tabuleiros do Sul, havendo ainda alguns casos em municípios como Arapiraca e Penedo. Cada uma das 116 ETEs foi avaliada considerando as outorgas de captação industrial presentes em seu raio de influência; para cada estação, soma-se a vazão total outorgada (ΣQ_{out}) e o número de outorgas identificadas nessas circunferências. Assim, ETEs mais próximas a polos industriais apresentam maior ΣQ_{out} , refletindo maior potencial para reúso.

Como resultado, a Tabela 18 apresenta o panorama das 116 ETEs, das quais 2 estão no Grupo A, 1 no Grupo B, 12 no Grupo C e as outras 101 estão no Grupo D – ou seja, os Grupos A, B e C reúnem um total de 15 ETEs do estudo.

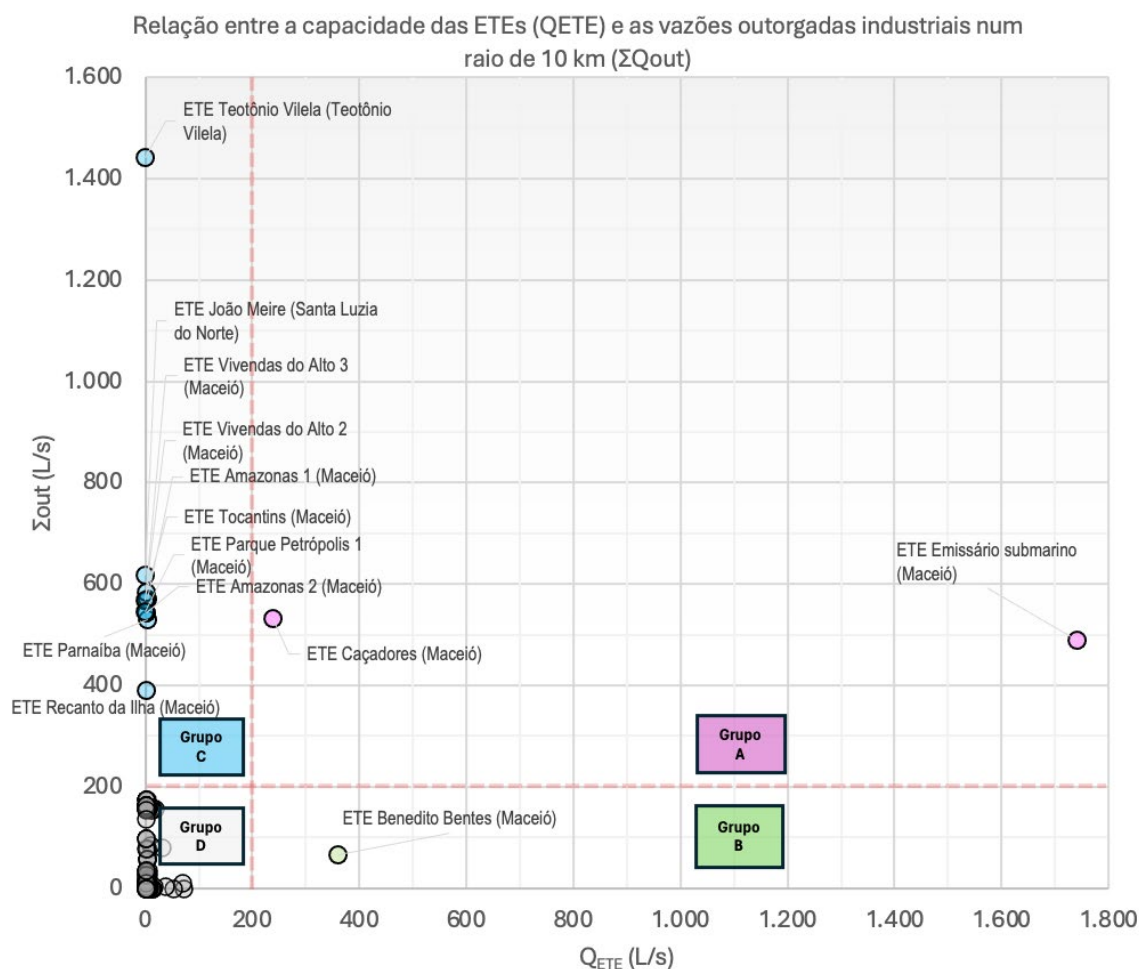
TABELA 18 – ETEs classificadas conforme grupo de potencial de reúso – estado de Alagoas

Grupo / ETEs	Q_{ETE} (L/s)	ΣQ_{out} (L/s)
A - Alta oferta, alta demanda (2 ETEs)	1.978,0	-
ETE Emissário submarino (Maceió)	1.740,0	488,9
ETE Caçadores (Maceió)	238,0	532,0
B - Alta oferta, baixa demanda (1 ETE)	360,0	-
ETE Benedito Bentes (Maceió)	360,0	66,7
C - Baixa oferta, alta demanda (12 ETEs)	17,1	-
ETE Parnaíba (Maceió)	3,5	528,5
ETE Amazonas 1 (Maceió)	3,5	570,3
ETE Amazonas 2 (Maceió)	2,5	542,5
ETE Recanto da Ilha (Maceió)	1,4	390,1
ETE Tocantins (Maceió)	1,2	584,2
ETE Vivendas do Alto 2 (Maceió)	0,9	567,0
ETE Vivendas do Alto 3 (Maceió)	0,9	567,0
ETE Vivendas do Alto 1 (Maceió)	0,9	567,0
ETE João Meire (Santa Luzia do Norte)	0,8	617,4
ETE Parque Petrópolis 2 (Maceió)	0,7	544,6
ETE Parque Petrópolis 1 (Maceió)	0,7	544,6
ETE Teotônio Vilela (Teotônio Vilela)	SD	1.440,7
D - Baixa oferta, baixa demanda (101 ETEs)	545,7	-
Total	2.900,8	-

Q_{ETE} : vazão de referência da ETE (vide Item 3.3.3.1). ΣQ_{out} : somatório das vazões outorgadas para a indústria contidas no raio de 10 km em torno da ETE. SD: Sem dados.
Fonte: CNI (2025).

Vale lembrar que, para um número relevante de ETEs, não há informações de vazão disponíveis. É provável que a maior parte dessas estações tenha capacidades muito reduzidas e não alcance vazão acima de 200 L/s, não podendo assim ser enquadradas nos Grupos A ou B.

O gráfico apresentado na Figura 20 exhibe cada uma das 116 ETEs considerando sua vazão de referência (Q_{ETE} , no eixo “x”) e o somatório das outorgas industriais próximas (ΣQ_{out} , no eixo “y”), além de indicar sua categorização nos grupos A, B, C e D.

FIGURA 20 – ETEs de acordo com potencial de reúso e grupo – Estado de Alagoas

Fonte: CNI (2025)

Aprofundando-se a avaliação das duas regiões com maior potencial para reúso industrial em Alagoas, destacam-se as regiões apresentadas abaixo nos subitens 4.1.1 e 4.1.2.

4.1.1 REGIÃO METROPOLITANA DE MACEIÓ

- A RM de Maceió contempla 13 municípios, sendo Marechal Deodoro, Maceió, Pilar e Rio Largo os mais expressivos em termos de demandas industrial de água.
- Concentração moderada de outorgas industriais. Possui o maior número de outorgas (73), mas somente a segunda maior vazão total outorgada (688,9 L/s).
- Região com elevado número de ETEs. São 77 ETEs, somando 2.592 L/s. A maior parte dessas ETEs são sistemas isolados de pequeno porte (fossa-filtro) localizados principalmente em Maceió. No entanto, a capital também detém as maiores ETEs do estado, sendo elas a ETE Emissário Submarino (1.740 L/s), e ETE Benedito Bentes (360 L/s) e ETE Caçadores (238 L/s).
- Presença marcante de indústrias de produtos químicos, eletricidade e gás, fabricação de bebidas e fabricação de produtos alimentícios.

- Praticamente todos os municípios possuem índice de tratamento de esgotos abaixo de 20%. As exceções são Maceió (31%) e Marechal Deodoro (26%).
- É a única região que possui ETEs de todo os Grupos (A, B, C e D), sendo:
 - **Grupo A (alta oferta, alta demanda):** 2 ETEs, sendo a ETE Caçadores e a ETE Emissário Submarino.
 - ETE Emissário Submarino: maior ETE do Estado (1.740 L/s), apenas tratamento preliminar, lançamento no mar por emissário submarino. Outorgas próximas somam 488 L/s (Braskem Cloro-Soda, Maceió; Braskem PVC, Marechal Deodoro).
 - ETE Caçadores: terceira maior ETE do estado (238 L/s), tratamento MBBR. Outorgas próximas somam 532 L/s (Braskem Cloro-Soda em Maceió; Polo Industrial Multissetorial Luiz Cavalcante, parte alta).
 - **Grupo B (alta oferta, baixa demanda):** 1 ETE, a ETE Benedito Bentes em Maceió.
 - ETE Benedito Bentes. É a segunda maior ETE do estado, com vazão de 360 L/s e processo de tratamento MBBR. As outorgas próximas somam 66,7 L/s e estão Polo Industrial Multissetorial Governador Luiz Cavalcante. Destacam-se usuários como a Norsa Refrigerantes e a Braskem.
 - **Grupo C (baixa oferta, alta demanda):** 11 ETEs.
 - ETEs de pequeno porte condominiais localizadas nos bairros Santa Amélia, Rio Novo e Petrópolis em Maceió, e nos municípios de Santa Luzia do Norte e em Marechal Deodoro (bairro Santa Rita). São estações descentralizadas e geralmente com processos simplificados, como fossa-filtro ou processos estritamente anaeróbios.

4.1.2 REGIÃO DE TABULEIROS DO SUL

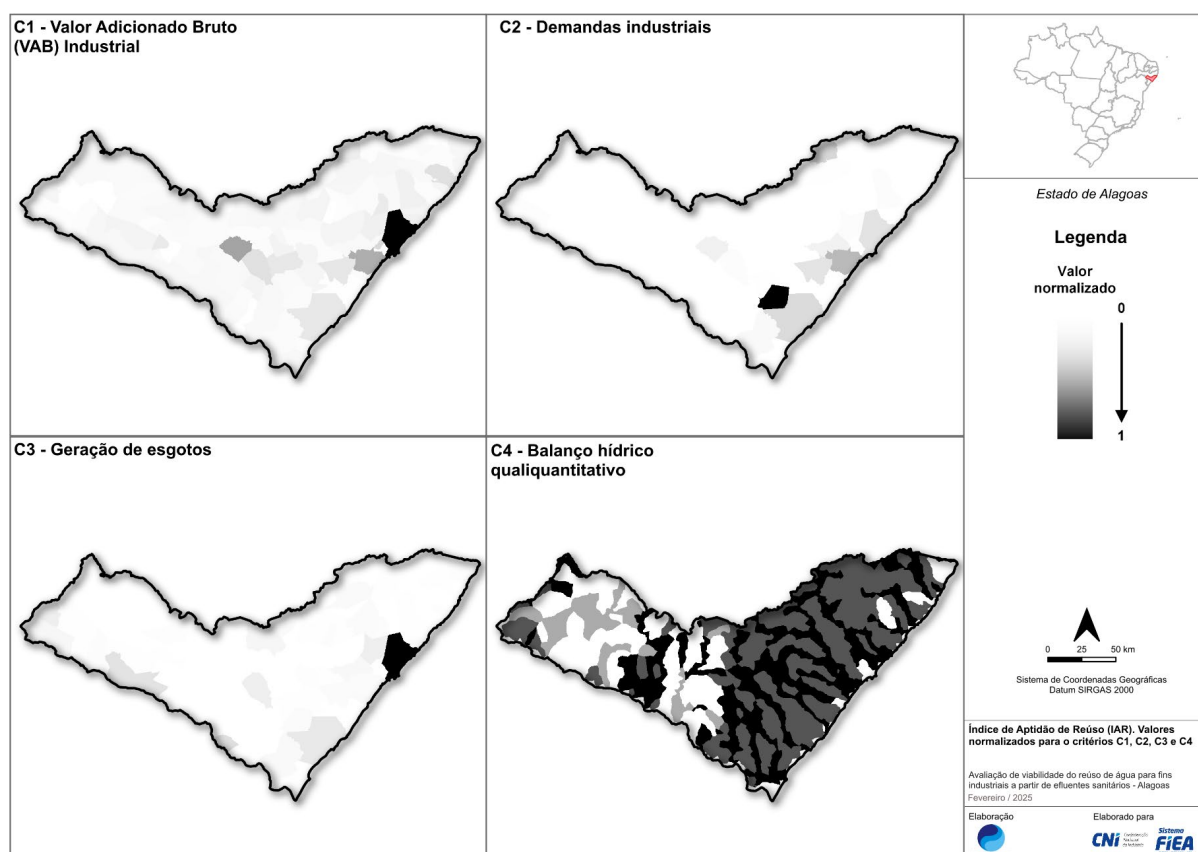
- A região de Tabuleiros do Sul contempla 9 municípios, sendo os mais expressivos em termos de demanda industrial de água Teotônio Vilela, Coruripe e São Miguel dos Campos.
- Alta concentração de outorgas industriais. Possui a maior vazão total outorgada para a indústria do estado, somando 1.805 L/s. Destes, 1.437 L/s estão em Teotônio Vilela.
- Possui 7 ETEs, sendo que para 3 delas não foram encontrados dados de vazão. As outras 4 somam capacidade de 45 L/s e estão concentradas, principalmente, em São Miguel dos Campos.
- Presença marcante de indústrias de fabricação de produtos alimentícios e eletricidade e gás.
- Quase todos os municípios possuem índice de tratamento de esgotos abaixo de 20%. As exceções são Teotônio Vilela (97%) e São Miguel dos Campos (35%).
- Possui ETEs Grupos B e D, sendo:
 - **Grupo B (alta oferta, baixa demanda):** 1 ETE, a ETE Teotônio Vilela.
 - ETE Teotônio Vilela: localizada em município com o mesmo nome, tratamento em lagoas (Sistema Australiano). Sem dados oficiais de vazão; estimativa de capacidade em torno de 70 L/s. Vazões industriais próximas somam 1.440,1 L/s (maior parte para energia elétrica – Impacto Bioenergia – e produção alimentos – Usinas Seresta, Nordeste Mais Alimentos, Amafil Alagoas).

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

A identificação de oportunidades de reúso pelo método IAR possui caráter territorial e abrange todo o estado de Alagoas. Cada porção do território é avaliada em relação aos quatro critérios e dois subcritérios do modelo (ver Item 3.2), recebendo ao final uma pontuação de IAR.

Conforme prevê o método, as áreas com maior aptidão são aquelas em que há convergência dos atributos de maior potencial para o reúso: intensidade e tendência da atividade industrial (C1), demandas por água (C2), oferta de efluentes (C3) e condição do balanço hídrico qualitativo (C4). Antes do cálculo do IAR, os valores de cada critério são normalizados, podendo ser visualizados nos mapas da Figura 21.

FIGURA 21 – Índice de Aptidão de Reúso (IAR). Valores normalizados dos critérios C1 a C4 – estado de Alagoas



Fonte: CNI (2025)

Os resultados obtidos foram organizados em faixas de aptidão, variando de IAR “muito baixo” a “muito alto”. A Tabela 23 apresenta essas faixas, assim como a distribuição das áreas do Estado de Alagoas conforme o IAR calculado para cada uma delas.

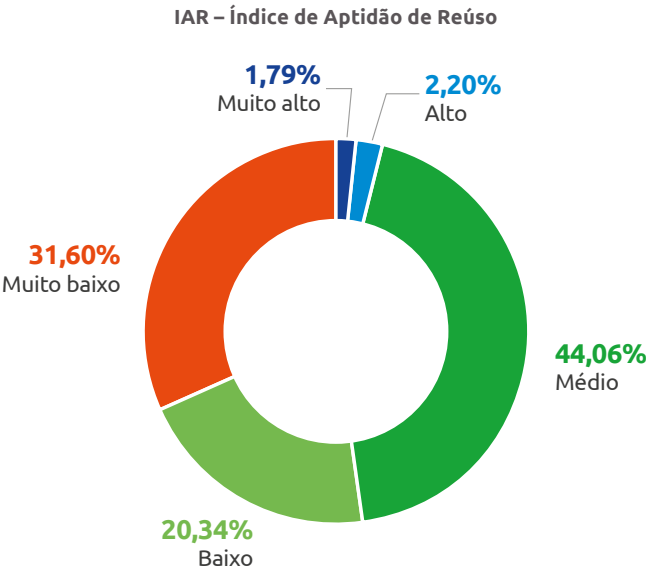
TABELA 19 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes – estado de Alagoas

IAR	Valores	Área (km²)	%Área
Muito baixo	$IAR \leq 0,05$	8.778	31,6%
Baixo	$0,05 < IAR \leq 0,10$	5.652	20,3%
Médio	$0,10 < IAR \leq 0,25$	12.240	44,1%
Alto	$0,25 < IAR \leq 0,50$	612	2,2%
Muito alto	$IAR > 0,50$	497	1,8%
Total	-	27.780	100,0%

Fonte: CNI (2025).

Da totalidade do território de Alagoas, 1,8% da área foi considerada como de IAR muito alto, e outros 2,2%, como de IAR alto. As áreas com IAR médio ou baixo totalizam 64,4% enquanto áreas com IAR muito baixo correspondem a 31,6% do território estadual. A Figura 22 apresenta esse panorama em formato gráfico, permitindo que se veja a distribuição dos diferentes níveis de aptidão para reúso em todo o Estado.

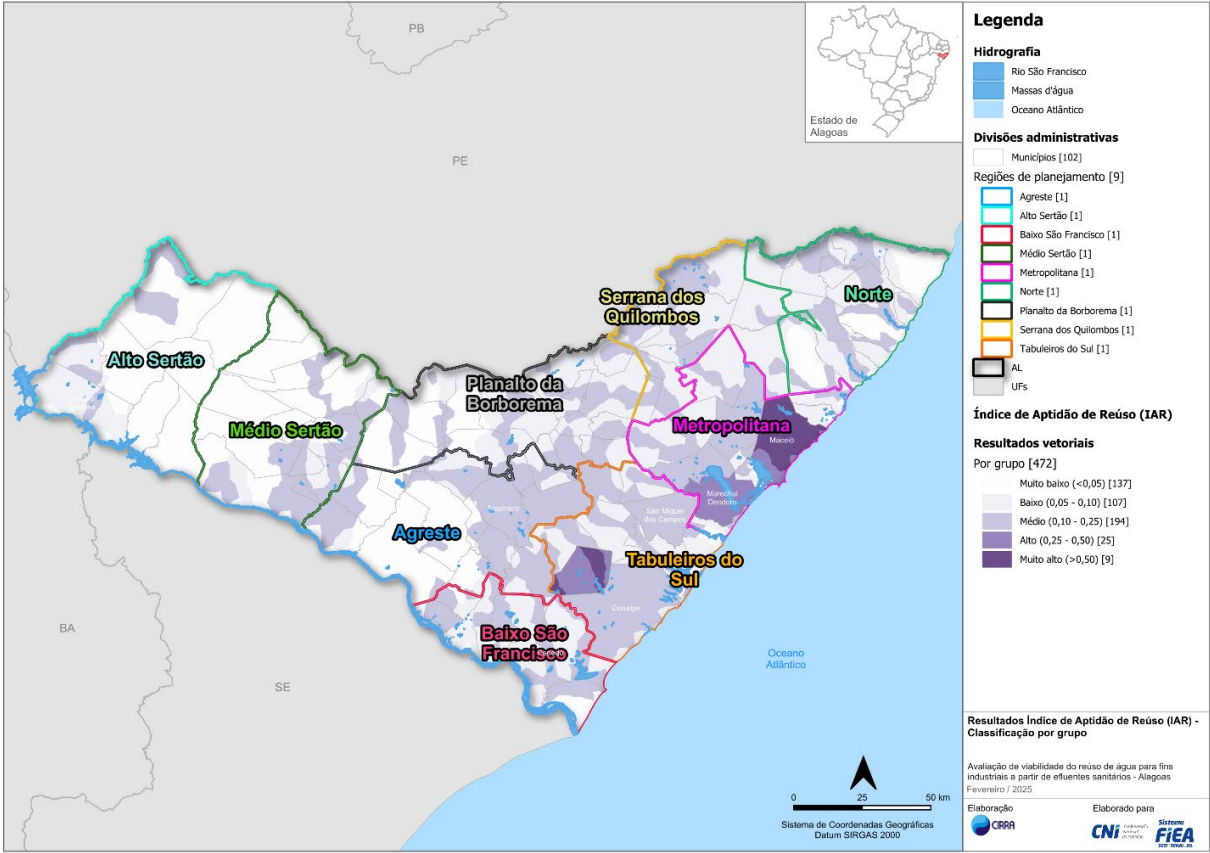
FIGURA 22 – Classificação dos valores de IAR e áreas resultantes – Estado de Alagoas



Fonte: CNI (2025).

A Figura 23 mostra os resultados obtidos de IAR, bem como as Regiões de Planejamento (RP) do Estado.

FIGURA 23 – Resultados de IAR – Classificação por grupo – Estado de Alagoas



Fonte: CNI (2025).

As áreas com maior potencial de reúso situam-se na Região Metropolitana de Maceió, com destaque para Maceió e Marechal Deodoro, e na Região de Tabuleiros do Sul, especialmente em Teotônio Vilela. Também foram identificadas áreas de potencial moderado na região do Agreste, principalmente em Arapiraca e arredores. A Tabela 20 apresenta o potencial de reúso por Região de Planejamento do Estado.

TABELA 20 – Avaliação do IAR por Região de Planejamento – Estado de Alagoas

Região de planejamento	Desempenho geral de IAR e características gerais e diretrizes de planejamento
Metropolitana de Maceió	IAR muito alto A região é prioritária em termos de reúso. Concentra as maiores vazões de geração de esgoto do estado, bem como demandas relevantes de água pela indústria, ainda que relativamente dispersas pelo território. A condição de balanço hídrico é muito crítica em toda a região, com praticamente todo o território em criticidade qualitativa ou quantitativa. A indústria apresenta VAB elevado, com tendência sólida de crescimento na última década. Destacam-se as áreas dos municípios de Maceió e Marechal Deodoro, bem como regiões de Pilar, Rio Largo e Messias.
Tabuleiros do Sul	IAR muito alto É prioritária em termos de reúso, principalmente pelas altas demandas de água e pela criticidade hídrica em todo o território. Apresenta VAB industrial alto, mas se vê certa tendência de encolhimento da atividade industrial. A geração de esgotos é elevada, principalmente em municípios que também possuem maior atividade industrial, como Teotônio Vilela, São Miguel dos Campos e Coruripe.

Região de planejamento	Desempenho geral de IAR e características gerais e diretrizes de planejamento
Baixo São Francisco	IAR baixo Não apresenta áreas com IAR relevantes. Além da criticidade hídrica muito elevada, não há outras características que favoreçam o reúso. A atividade industrial e as demandas de água pela indústria são baixas. A geração de esgotos é moderada, mas não existem demandas industriais relevantes.
Agreste	IAR moderado Possui desempenho moderado para quase todos os critérios. É uma região com VAB e demandas industriais relevantes, principalmente em Arapiraca e municípios próximos. É a região que apresenta maior número de município com elevado crescimento de VAB na última década, o que indica tendência de crescimento da indústria e, conseqüentemente, das demandas de água.
Planalto da Borborema	IAR baixo Não apresenta áreas com IAR relevantes. Além da criticidade hídrica muito elevada, não há outras características que favoreçam o reúso. A atividade industrial e as demandas de água pela indústria são baixas. A geração de esgotos é moderada, mas não existem demandas industriais relevantes.
Médio Sertão	IAR baixo Não apresenta áreas com IAR relevantes. Não há características que favoreçam o reúso, nem mesmo criticidade hídrica relevante. A atividade industrial as demandas de água pela indústria e a geração de esgotos são baixas ou muito baixas.
Alto Sertão	IAR muito baixo Não apresenta áreas com IAR relevantes. Não há características que favoreçam o reúso, nem mesmo criticidade hídrica relevante. A atividade industrial, as demandas de água pela indústria e a geração de esgotos são baixas ou muito baixas.
Serrana dos Quilombos	IAR baixo Não apresenta áreas com IAR relevantes. Além da criticidade hídrica muito elevada, não há outras características que favoreçam o reúso. A atividade industrial e a geração de esgotos são baixas. Há alguma relevância em termos de uso de água pela indústria, mas que se deve basicamente a uma única outorga em São José da Laje.
Norte	IAR muito baixo Não apresenta áreas com IAR relevantes. Não características que favoreçam o reúso, nem mesmo criticidade hídrica relevante. A atividade industrial as demandas de água pela indústria e a geração de esgotos são baixas ou muito baixas.

4.3 ESTUDOS DE CASO

A partir do estudo realizado no estado do Maranhão, incorporaram-se às publicações alguns estudos de caso, que detalham em profundidade oportunidades específicas de reúso detectadas. Nesses casos, são apresentados: concepções de engenharia, verificação das ofertas e demandas de água, definição da rota tecnológica de tratamento, traçado proposto de adutora para distribuição da água de reúso e estimativas de custos correspondentes.

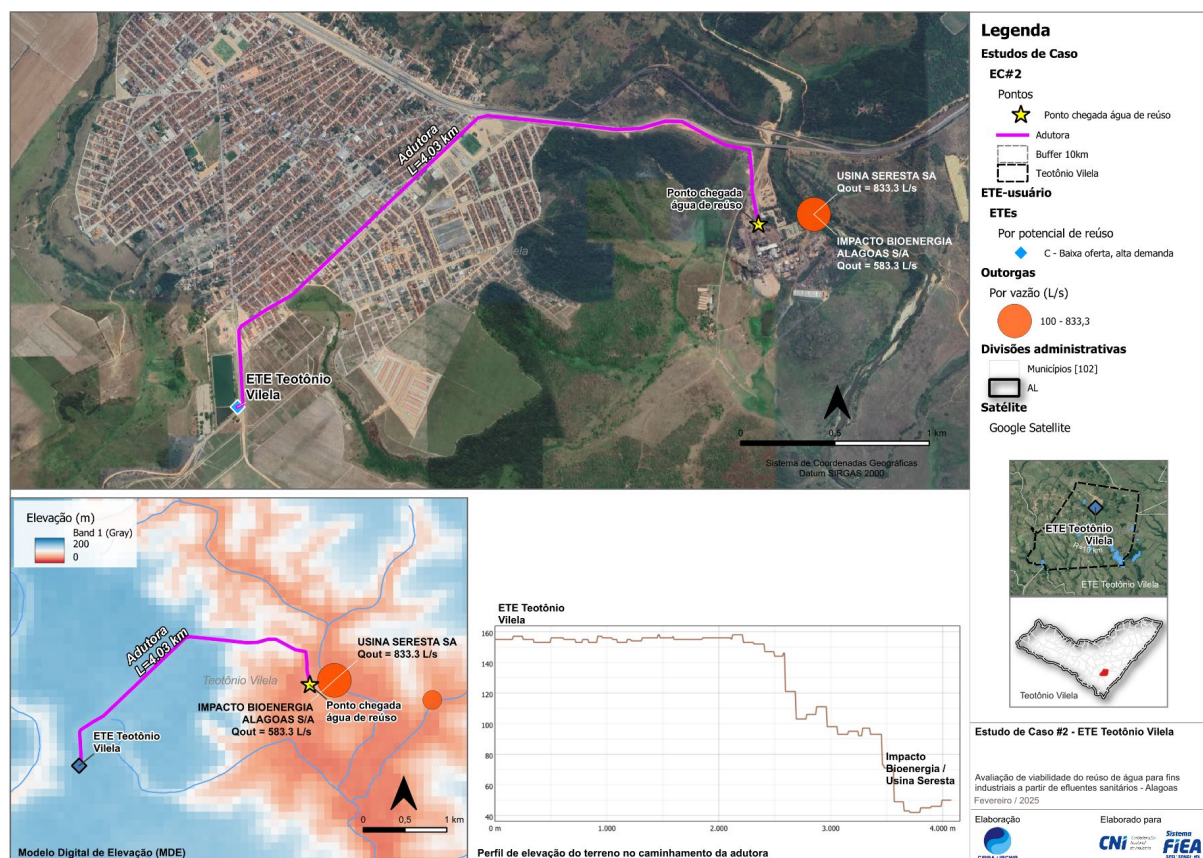
Nos itens seguintes, encontram-se, de forma resumida, alguns desses estudos de caso, cada um com características próprias. Informações detalhadas podem ser consultadas nos estudos referentes ao Rio Grande do Sul e a Alagoas.

4.3.1 ESTUDO DE CASO NR. 1 – ETE TEOTÔNIO VILELA, ALAGOAS – ETE GRUPO B

Teotônio Vilela é o município que concentra as maiores vazões outorgadas para a indústria em Alagoas, totalizando 1.437 L/s. O município dispõe de uma ETE, a ETE Teotônio Vilela, cujo processo é do tipo Lagoas e cuja vazão de projeto foi estimada em 80 L/s⁴. De acordo com o método ETE-usuário, trata-se de uma ETE do Grupo B, caracterizada por baixa oferta atual e altas demandas industriais próximas.

A Figura 24 mostra a localização da ETE, o traçado proposto da adutora para estimativa de custos e destaca as três principais outorgas da região, que somam 1.427 L/s, destinadas às finalidades de fabricação de produtos alimentícios (açúcar) e eletricidade e gás (geração de energia elétrica).

FIGURA 24 – Estudo de caso nr. 1: ETE Teotônio Vilela, em Teotônio Vilela, Alagoas



Fonte: CNI (2025).

O Capex total estimado foi de R\$35,7 milhões e o Opex anual de R\$6,0 milhões, equivalente a 16,8% do Capex. O Opex unitário corresponde a R\$2,38/m³, resultando em um valor unitário de R\$4,14, considerando aplicação do Capex no ano zero, horizonte de 30 anos e taxa de juros

4 As bases utilizadas não continham dados diretos de vazão da ETE, sendo realizada estimativa da capacidade a partir de informações complementares, conforme descrito no estudo.

de 12% ao ano (detalhes no ANEXO C). O Capex referente à adução representa 10,4% do total, diferentemente do EC#1, onde o valor era superior a 30%. O Opex associado à adução também é reduzido, pois a ETE está em cota mais alta que o usuário final. A Tabela 22 apresenta os valores detalhados de Capex, Opex, custos unitários e demais resultados do dimensionamento.

TABELA 21 – Estudo de Caso nr. 2 – ETE Teotônio Vilela. Estimativas de Capex, Opex e custos unitários

Grupo	Item	Unidade	EC2	% do total (quando aplicável)
Vazões	ETE	-	Teotônio Vilela	-
	Q_{ETE}	L/s	80	-
	Processo ETE	-	MBR + 50%OR	-
	Q_{EPAR} (água de reúso)	L/s	66,6	-
Capex	EPAR	R\$	R\$ 29.646.676	83,0%
	Reservatório	R\$	R\$ 919.773	2,6%
	Estação elevatória	R\$	R\$ 1.439.897	4,0%
	Adutora	R\$	R\$ 3.715.755	10,4%
	Total Capex	R\$	R\$ 35.722.101	100%
Opex	EPAR	R\$/ano	R\$ 5.487.702	91,3%
	Reservatório	R\$/ano	R\$ 41.390	0,7%
	Adução	R\$/ano	R\$ 479.895	8,0%
	Total Opex	R\$/ano	R\$ 6.008.987	100%
Recalque	L recalque	km	4,03	-
	AMT	m	29,6	-
	Potência requerida	CV	45	-
Variáveis e indicadores	Capex unitário	R\$MM/(m³/s)	R\$ 446,53	-
	Opex unitário	R\$/m³	R\$ 2,38	-
	Opex anual / Capex	-	16,8%	-
	Custo unitário	R\$/m³	R\$ 4,14	-

Fonte: CNI (2025).

4.3.2 ESTUDO DE CASO NR. 2 – POLO INDUSTRIAL JOSÉ APRÍGIO VILELA – ETE PROJETADA

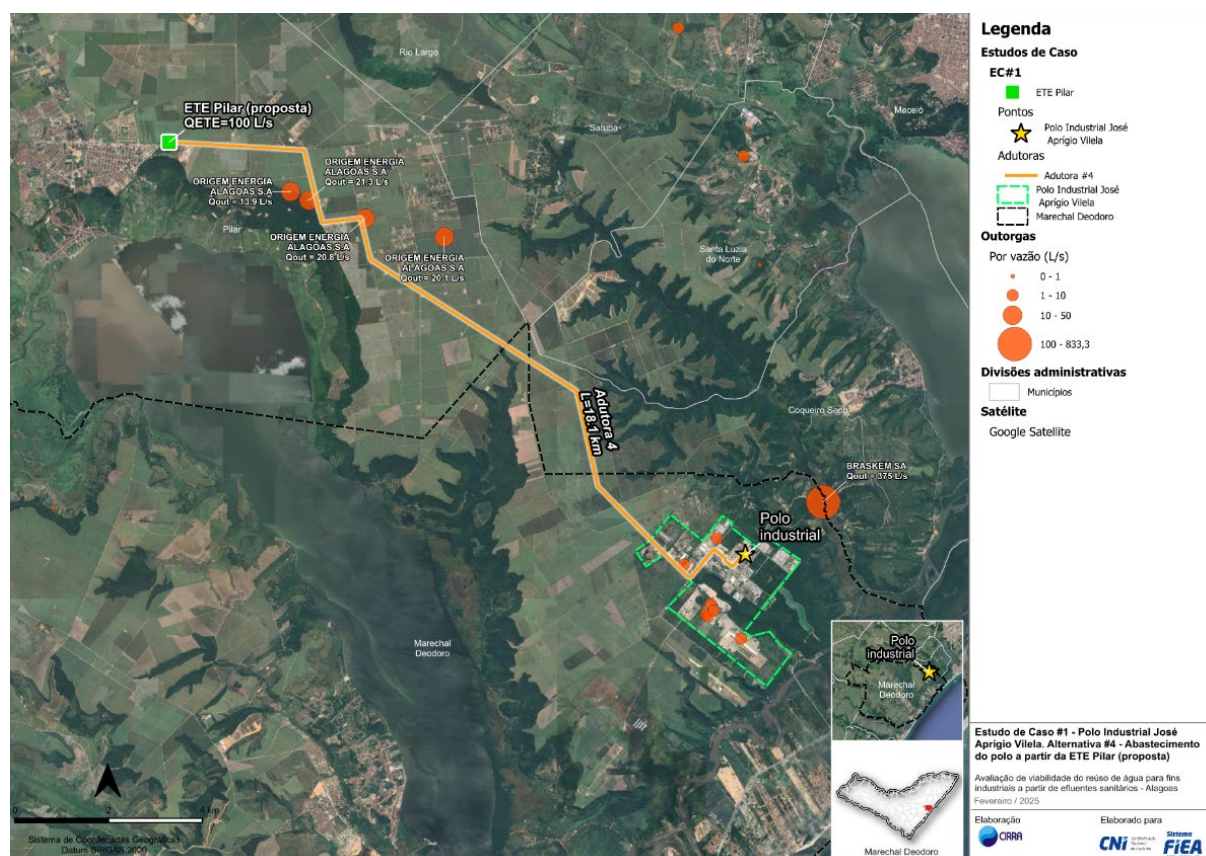
O Polo Industrial José Aprígio Vilela, situado em Marechal Deodoro, destaca-se como um dos maiores usuários industriais de água em Alagoas, contando com oito outorgas de captação que totalizam 389,1 L/s, das quais 375 L/s (96%) são destinadas à Braskem, do setor petroquímico. A proposta é que a demanda de água não potável do polo seja atendida por uma futura ETE no município vizinho de Pilar, cuja cobertura de tratamento de esgotos é atualmente próxima de zero. Essa nova ETE teria capacidade de 100 L/s.

Ressalta-se que essa oportunidade não foi captada diretamente pelo método ETE-usuário, pois se trata de uma unidade nova. Neste caso, identificou-se a possibilidade a partir do agrupamento de grandes consumidores industriais e da análise dos dados de recursos hídricos e saneamento, resultando em sugerir um arranjo inovador.

É importante mencionar que o planejamento nacional prevê a universalização da coleta e do tratamento de esgotos sanitários até 2033. Com esse horizonte, a construção de uma ETE em Pilar no médio prazo é plausível e, ao ser direcionada também ao fornecimento de água de reúso para consumidores industriais hidroativos, representa relevante estratégia para o uso sustentável dos recursos hídricos.

A Figura 25 ilustra esse arranjo, mostrando a localização da futura ETE Pilar, o traçado proposto da adutora e o Polo Industrial José Aprígio Vilela.

FIGURA 25 – Estudo de caso nr. 2: Polo Industrial José Aprígio Vilela, em Marechal Deodoro, Alagoas



Fonte: CNI (2025).

O esquema proposto envolve a implantação de uma ETE com capacidade de tratamento de 100 L/s, adotando uma rota tecnológica principal baseada em MBR seguido de OR, resultando em produção de 83,3 L/s de água de reúso⁵ com padrão adequado para sistemas de resfriamento. Estima-se que a adutora projetada tenha DN450-500mm⁶, variando conforme o trecho, e comprimento total de 18 km. A localização da ETE é favorável, pois está 30 m acima do ponto de uso final, o que reduz custos de bombeamento.

⁵ A vazão de água de reúso é menor devido às perdas associadas ao lodo do MBR e ao concentrado do processo de OR, além de somente parte da produção necessitar de tratamento final conforme o uso previsto.

⁶ DN refere-se ao diâmetro nominal da tubulação.

O Capex total estimado é de R\$ 57,8 milhões e o Opex anual, R\$7,9 milhões (13,6% do Capex). O Opex unitário fica em R\$ 3,00/m³, enquanto o valor unitário final alcança R\$ 5,73, considerando aplicação do Capex no ano inicial, horizonte de 30 anos e taxa de juros de 12% ao ano (ver ANEXO B). O custo da adutora é elevado, representando 33,3% do Capex; porém, o Opex da adução corresponde a 16,1% do Opex anual. A Tabela 22 detalha todos os valores e resultados do dimensionamento.

TABELA 22 – Estudo de Caso – Polo Industrial José Aprígio Vilela. Estimativas de Capex, Opex e custos unitários

Grupo	Item	Unidade	Alternativa A4 – ETE Pilar abastecendo o Polo	%do total (quando aplicável)
Vazões	ETE	-	Pilar	-
	Q _{ETE} (afluente)	L/s	100	-
	Processo EPAR	-	MBR + 50%OR	-
	Q _{EPAR} (água de reúso)	L/s	83,3	-
Capex	EPAR	R\$	R\$ 35.882.946	62,1%
	Reservatório	R\$	R\$ 1.077.672	1,9%
	Estação elevatória	R\$	R\$ 1.604.833	2,8%
	Adutora	R\$	R\$ 19.235.205	33,3%
	Total Capex	R\$	R\$ 57.800.656	100%
Opex	EPAR	R\$/ano	R\$ 6.566.668	83,3%
	Reservatório	R\$/ano	R\$ 48.495	0,6%
	Adução	R\$/ano	R\$ 1.265.088	16,1%
	Total Opex	R\$/ano	R\$ 7.880.251	100%
Recalque	L recalque (comprimento linha recalque)	km	18,14	-
	AMT (Altura Manométrica Total)	m	31,2	-
	Potência requerida	CV	60	-
Variáveis e indicadores	Capex unitário	R\$MM/(m³/s)	R\$ 693,89	-
	Opex unitário	R\$/m³	R\$ 3,00	-
	Opex anual / Capex	-	13,6%	-
	Custo unitário	R\$/m³	R\$ 5,73	-

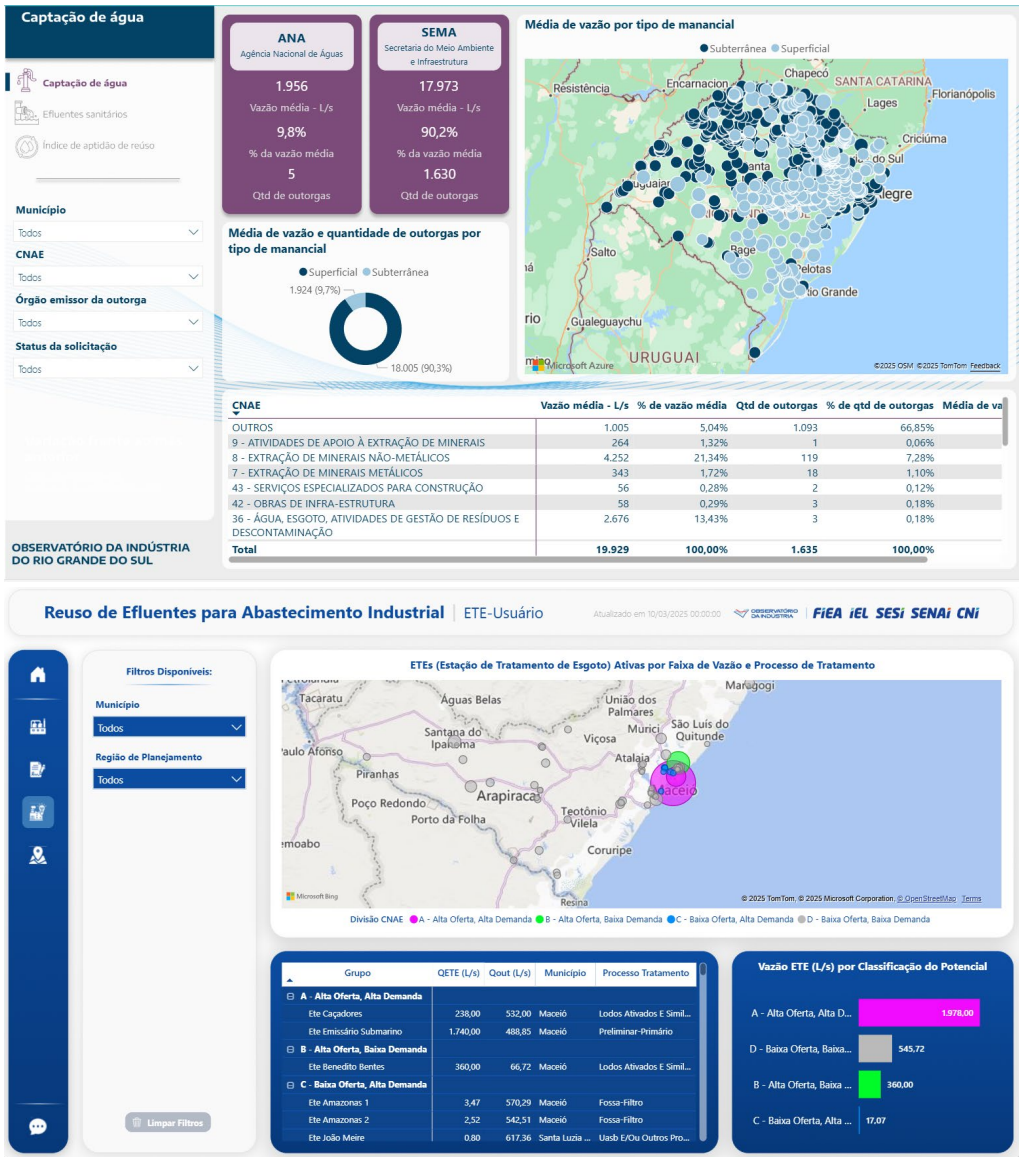
MBR: Biorreator com membranas. OR: Osmose Reversa.
Fonte: CNI (2025).

4.4 PLATAFORMAS DE BUSINESS INTELLIGENCE (BI) E DISPONIBILIZAÇÃO PROATIVA DE DADOS

Dada a natureza espacial e o grande volume de resultados gerados nos estudos, a comunicação por relatórios tradicionais é limitada. Por esse motivo, a partir do estudo para o Rio Grande do Sul, iniciou-se o desenvolvimento de plataformas de *Business Intelligence* (BI) para viabilizar a disponibilização dos dados de forma interativa e dinâmica. Nesses painéis, são apresentados tanto os dados de entrada dos modelos quanto alguns dos principais resultados. A plataforma

permite que o público interaja com tabelas, dashboards e mapas interativos. A Figura 26 apresenta uma captura de tela das plataformas desenvolvidas para os Estados do [Rio Grande do Sul](#) e de [Alagoas](#), cujos acessos podem ser feitos pelos *links* ou clicando sobre as imagens.

FIGURA 26 – Captura de tela da plataforma de BI elaborada para os Estados do Rio Grande do Sul e Alagoas



Fonte: Plataforma de BI elaborada pelas federações

Os dados disponibilizados nas plataformas de BI não se restringem apenas aos resultados do estudo, abrangendo também bases de dados sobre ETEs e outorgas. Como abordado no Item 3.3, uma etapa fundamental do trabalho é dedicada à solicitação, obtenção, verificação, tratamento e estruturação desses dados, que são, por sua natureza, públicos no Brasil. Diante do esforço realizado nessas etapas, a plataforma apresenta as bases organizadas e de fácil acesso, permitindo que outros usuários possam utilizá-las conforme seus objetivos, promovendo transparência e incentivo à continuidade de estudos no setor.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, DESDOBRAMENTOS E DESAFIOS

Este documento apresentou a experiência da CNI na realização de estudos de reúso industrial no Brasil. Ainda que baseado na experiência brasileira, o país compartilha diversas similaridades com os demais países da América do Sul, sendo possível, assim, realizar adaptações para aplicação do estudo em outros países.

Os estudos de reúso da CNI são ferramentas de planejamento que têm como objetivo fornecer subsídios para a tomada de decisão estratégica no tema de reúso industrial. Seu intuito não é devolver parâmetros de projeto para a efetivação de projetos de engenharia, mas sim trazer à tona a potencialidade do reúso industrial nas áreas estudadas, propondo formas estruturadas para essa avaliação.

Em um universo de centenas ou milhares de ETEs e indústrias, não é simples a tarefa de identificar as oportunidades mais relevantes. As metodologias apresentadas têm justamente o objetivo de destacar e caracterizar quais são as estações e áreas que demonstram maior potencial, abrindo caminho para estudos mais detalhados que possam se converter em efetivos projetos de engenharia.

A estrutura deste documento foi organizada de forma a transmitir de forma clara e objetiva os principais pontos dos estudos brasileiros, possuindo a seguinte ordem:

- No Capítulo 1 é apresentada uma contextualização geral dos estudos da CNI, com um breve histórico de quais os estados contemplados e destacando quais alterações metodológicas foram realizadas ao longo do tempo.
- No Capítulo 2 são abordados os principais elementos e conceitos relacionados ao reúso industrial. Há um panorama sobre recursos hídricos e saneamento na América do Sul; conceituação teórica do que é reúso e qual modalidade é contemplada neste estudo; especificidades do reúso industrial, destacando quais usos podem ser supridos por água de reúso na indústria, referências de padrões de qualidade e tecnologias para produção de água de reúso; e detalhes sobre algumas das principais experiências de reúso brasileiras.

- No Capítulo 3 são efetivamente apresentadas as metodologias utilizadas nos estudos da CNI: o método ETE-usuário e o método do Índice de Aptidão de Reúso (IAR), cada qual com suas características, abrangências e objetivos. Nos anexos (ANEXO A, ANEXO B e ANEXO C).
- No Capítulo 4 são trazidos exemplos dos resultados oriundos aplicação destas metodologias, utilizando-se como referência o estado de Alagoas, o qual foi o objeto de estudo do trabalho mais recente (2025).

Constam também itens auxiliares, com destaque ao GLOSSÁRIO DE TERMINOLOGIAS BRASILEIRAS, que busca esclarecer públicos não brasileiros sobre algumas peculiaridades consideradas relevantes, referentes ao ordenamento legal vigente no país, temas específicos de recursos hídricos e saneamento e tipologias de classificação de atividades econômicas.

Os anexos complementam o conteúdo do texto, sendo:

- ANEXO A: MODELO DO ÍNDICE DE APTIDÃO DE REÚSO (IAR) – ASPECTOS METODOLÓGICOS COMPLEMENTARES. Informações adicionais sobre a estruturação do modelo do IAR, como a atribuição paritária de importâncias, avaliação de consistência, normalização e derivação de prioridades.
- ANEXO B: FORMATOS DE SOLICITAÇÃO DE DADOS. Materiais utilizados para a solicitação de dados junto aos provedores de dados.
- ANEXO C: PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS. Curvas de custos usadas nas estimativas de Capex e Opex de produção, reservação e distribuição de água de reúso.

O Brasil compartilha inúmeras características com os demais países da América do Sul, entre eles a elevada escassez hídrica em áreas densamente povoadas, déficits de coleta e tratamento de esgotos e grande potencial de crescimento industrial.

A América do Sul abriga biomas muito distintos e com padrões de uso e ocupação do solo igualmente variados e complexos, com elevada disponibilidade hídrica natural média, haja a vista corpos hídricos como os rios Amazonas, Paraná, Madeira, São Francisco e Purus, bem como os Aquíferos Guarani, Alter do Chão, Amazonas e Puelche. No entanto, isso muitas vezes leva à impressão errônea de que todo o território sul-americano está confortável em termos hídricos. Há áreas com elevado estresse hídrico em países com balanço hídrico médio positivo, como é o caso do Brasil e da Colômbia. Há áreas áridas e desérticas na Bolívia, Peru, Chile e Argentina, bem como áreas nevadas ao sul do continente e nas altitudes dos Andes.

As áreas com maior disponibilidade natural não são as mais densamente povoadas. A bacia do Amazonas, por exemplo, possui baixa densidade demográfica e disponibilidade hídrica muito elevada, enquanto há inúmeras bacias densamente povoadas e que não possuem disponibilidade natural suficiente. Exemplos de áreas que enfrentam situações de estresse hídrico crônico são as regiões metropolitanas de Santiago, Lima, Bogotá, São Paulo, Fortaleza e Rio de Janeiro.

A cobertura limitada de coleta e tratamento de efluentes gera também pressão sobre os recursos hídricos, já que a degradação dos corpos hídricos receptores reduz a disponibilidade hídrica para consumo humano, resultando em balanços hídricos críticos não somente em termos quantitativos, mas também qualitativos. A necessidade de universalização de serviços mais elementares, como fornecimento de água potável e coleta e tratamento de esgotos, impõe alguma resistência ao planejamento e a busca por fontes alternativas de água, já que é comum que os operadores de saneamento entendam que a diversificação da matriz hídrica deve ocorrer após o cumprimento dessas metas básicas.

Por isso, raramente há metas e planos objetivos que incluam, efetivamente, o reúso de água como uma medida de adaptação às mudanças climáticas e como elemento estratégico do saneamento, sendo este um desafio importante em termos de mudança de paradigma por parte dos tomadores de decisão. Além disso, o tema de reúso é frequentemente relegado a segundo plano por não ser visto como uma pauta ambiental tão relevante quanto outras mais midiáticas, como transição energética, controle das emissões de carbono e conservação de biomas.

O tema de reúso requer um tipo especial de articulação entre diversos atores, uma vez que interage com as áreas de tratamento de esgotos, abastecimento de água e gestão de recursos hídricos. No estado do Rio Grande do Sul e de Alagoas, os dois mais recentes, um avanço importante foi o estabelecimento de termos de cooperação técnica entre as federações da indústria e as secretarias de recursos hídricos, com o intuito de produzir atualizações recorrentes dos estudos, uma vez que as outorgas concedidas mudam ao longo do tempo, bem como a situação de recursos hídricos e de saneamento básico. Algumas das oportunidades identificadas passaram a ser efetivamente consideradas tanto pelas indústrias envolvidas, como pelas empresas de saneamento após o lançamento do estudo, o que é visto como um desdobramento positivo e ainda em desenvolvimento.

O tema dos custos é também central. Os usuários de água, principalmente aqueles que possuem captações próprias, não veem justificativa para arcar com custos potencialmente mais altos de água, dado que a situação atual é vista como confortável. É muito comum que o industrial que capta e produz a própria água não tenha controle dos custos que estão envolvidos neste processo (energia elétrica, químicos e insumos, depreciação de ativos, manutenção e substituição de equipamentos, licenças e mão de obra). Ao ser questionado sobre a disposição a pagar por uma fonte alternativa de água, portanto, o usuário não possui uma referência clara do custo atual, o que obscurece sua tomada de decisão e gera um rechaço a valores por ele considerados altos, mas que podem, inclusive, ser mais baixos que os atuais.

A água de reúso tende a ser erroneamente vista como um produto de qualidade inferior e que, por isso, deveria custar menos que a água de uma fonte convencional. Há uma tendência de repulsa à água de reúso, o que é inclusive denominado na literatura como “efeito eca” (“*yuck factor*”). Essa mudança de mentalidade é de fundamental importância para difusão da

prática de reúso, levando-se em conta, inclusive, que determinados setores podem ser mais sensíveis a este tema. Há relatos de indústrias dos segmentos de alimentos e bebidas que não levaram adiante iniciativas de reúso por receio de disseminação de notícias falsas sobre uso de água de reúso

A problemática de dados sobre água e saneamento ("*water-related data*") é internacionalmente conhecida, e foi inclusive um dos principais temas do Fórum Mundial da Água de 2018. Conforme abordado neste documento, a obtenção e utilização de dados relativamente simples como outorgas e ETEs requer diversas etapas de solicitação, avaliação, revisão e estruturação das bases de dados. Dados sobre água são complexos e muitas vezes não são devidamente estruturados para uso; são fornecidos e organizados por múltiplos agentes, cada qual com culturas de dados e objetivos diferentes. Raramente estão publicamente disponíveis em formato, quantidade e qualidade suficiente para uso; e ainda há inúmeras bases de dados que sequer foram digitalizadas.

Por isso, a criação e manutenção das plataformas de BI (vide Item 4.4) têm justamente o objetivo de tornar a difusão de dados mais simples, disponibilizando sistematicamente os dados coletados e resultantes dos estudos.

A questão do disciplinamento do reúso não foi diretamente abordada neste documento, mas é um ponto fundamental. Cada país ou estado pode estabelecer critérios distintos de reúso. A título de exemplo, as abordagens no nível nacional de Brasil e Colômbia são substancialmente diferentes. No Brasil, a Resolução N° 54/05 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o único texto em nível nacional sobre o tema que, basicamente, estabelece de forma sucinta as modalidades de reúso não potável. Na Colômbia, por outro lado, a estabelece padrões de qualidade para determinados usos (agrícola), diferencia reúso de recirculação de água e define que é necessária outorga para o uso de água de reúso.

A realização de estudos similares em outros países da América do Sul certamente passará por desafios específicos. Estima-se que os principais sejam relacionados à disponibilização e utilização de dados de saneamento e recursos hídricos; ao status de disciplinamento sobre reúso; à percepção sobre a problemática de escassez hídrica e necessidade de diversificação de fontes de água; e à resistência à mudança de paradigma. A própria maneira como o saneamento é organizado em cada país, bem como quais são as informações disponibilizadas e mantidas em nível nacional, influenciam profundamente a forma como estudos de potencial de reúso podem ser realizados, sendo necessárias adaptações conforme a realidade de cada região.



REFERÊNCIAS

AQUEDUCT. Water Risk Atlas. Disponível em: https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=wawr_def_tot_cat&lat=30.06909396443887&lng=-79.98046875000001&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=baseline&threshold&timeScale=annual&year=baseline&zoom=3. Acesso em: 02 jul. 2025.

BID – BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. Nota técnica N° IDB-TN-01945. El estado del sector agua, saneamiento y residuos sólidos en Uruguay: diagnóstico y perspectivas. 2020. Disponível em: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-estado-del-sector-agua-saneamiento-y-residuos-solidos-en-Uruguay-Diagnostico-y-perspectivas.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2025.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Maranhão. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2021/3/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-da-oferta-e-da-demanda-no-estado-do-maranhao-2052/>. Acesso em: 02 jul. 2025.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado do Rio Grande do Sul. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2024/4/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-avaliacao-de-oferta-e-da-demanda-no-estado-do-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 02 jul. 2025.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado de Alagoas. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2025/3/reuso-de-efluentes-para-abastecimento-industrial-2547/>. Acesso em: 02 jul. 2025.

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.

MIERZWA, J. C.; ESPÍNDOLA, J.; HESPANHOL, I. Água na Indústria: uso racional e reúso. 2. Ed. ver. E atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2024.

UN-WATER. Programa das Nações Unidas para Água. Progresso dos indicadores do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6.3. Disponível em: <https://sdg6data.org/en/indicador/6.3.1>. Acesso em 28 jul. 2025.



GLOSSÁRIO DE TERMINOLOGIAS BRASILEIRAS

De modo a facilitar a compreensão dos conteúdos deste relatório por públicos não brasileiros, apresentam-se a seguir algumas especificidades relacionadas aos temas de saneamento e recursos hídricos.

Unidades da Federação (ou Estados) e União

- O Brasil é uma federação composta por 27 UFs (Unidades da Federação), equivalentes a Estados ou departamentos em outros países. Por ser uma federação, há certa autonomia dos Estados em relação a alguns temas, mantendo-se estes, contudo, em harmonia legislativa com a União. Os Estados possuem legislações e atribuições próprias que, no entanto, não podem ser mais permissivas que as normas federais.

Outorgas de direito de uso da água

- As outorgas são instrumentos de gestão dos recursos hídricos, concedidas pelos Estados ou pela União. Ao receber uma outorga, determinado usuário adquire o direito de usufruir de um bem público por um período previamente definido e sob condições específicas. No caso das outorgas de direito de uso da água, podem ser autorizados diversos tipos de interferência, como a captação da água para abastecimento, o lançamento de efluentes tratados ou a construção de barramentos.
- Para corpos hídricos superficiais situados inteiramente dentro de um único Estado ou para águas subterrâneas, cabe às autoridades estaduais conceder a outorga de uso (outorgas estaduais). No caso de rios que cruzam mais de um Estado – como os rios Amazonas, São Francisco e Paraná –, as outorgas são concedidas pela União (outorgas federais), por intermédio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A Tabela 1 apresenta as diferenças entre as outorgas estaduais e federais.

TABELA 1 – Tipos de outorga de direito de uso da água, conforme o concedente

Tipo de outorga	Abrangência territorial	Órgão concedente e disponibilidade das bases de dados
Estadual	<ul style="list-style-type: none"> Corpos hídricos superficiais de domínio estadual, ou seja, rios, represas e lagoas que estão fisicamente contidos em uma única Unidade da Federação. Captações de águas subterrâneas. 	São concedidas por autoridades estaduais, como secretarias de Recursos Hídricos, institutos de Meio Ambiente ou agências estaduais específicas de gestão da água. As bases de dados são mantidas por esses órgãos e, em alguns casos, disponibilizadas em plataformas públicas para consulta ou <i>download</i> . Entretanto, nem todos os Estados oferecem acesso aberto a essas informações.

Tipo de outorga	Abrangência territorial	Órgão concedente e disponibilidade das bases de dados
Federal	<ul style="list-style-type: none"> Corpos hídricos superficiais de domínio da União, como rios que atravessam dois ou mais Estados. 	São concedidas pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). As bases de dados podem ser obtidas em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/outorga/outorgas-emitidas

Finalidades de reúso conforme Resolução CNRH nº 54/2005

- A Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) institui, em âmbito nacional, as finalidades para o reúso não potável direto de água no Brasil. Ao longo do texto, essas modalidades são empregadas, inclusive quando agrupadas (caso de usos urbanos, como irrigação paisagística e combate a incêndios).
- Em seu Art. 3º, a Resolução define as seguintes modalidades de reúso não potável direto:
 - I - reúso para fins urbanos: emprego de água de reúso em irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, no ambiente urbano.;
 - II - reúso para fins agrícolas e florestais: utilização da água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
 - III - reúso para fins ambientais: aplicação da água de reúso em projetos de recuperação ambiental;
 - IV - reúso para fins industriais: uso da água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e
 - V - reúso na aquicultura: aplicação da água de reúso para criação de animais e cultivo de vegetais aquáticos.

Prestação de serviços de saneamento básico

- Os serviços de saneamento básico – abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e gestão de resíduos sólidos – são de titularidade dos municípios, conforme previsto na Lei Federal nº 11.445/2007 e atualizado pelo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020). Cabe às prefeituras organizar e prestar esses serviços, podendo executá-los diretamente ou conceder sua operação a empresas públicas, privadas ou de economia mista.
- A forma de prestação varia de acordo com a região e o porte do município. Nas áreas metropolitanas e grandes cidades, é comum que a operação seja concedida a companhias estaduais ou grupos privados com presença regional, como SABESP, COPASA, CAGECE, Aegea, BRK e GS Inima. Nessas regiões, devido à conurbação, uma mesma prestadora costuma administrar sistemas integrados que atendem vários municípios vizinhos. Em municípios de menor porte, predomina ainda o modelo de operação direta por meio de autarquias municipais ou serviços autônomos de água e esgoto, vinculados à administração local.

CNAE: Classificação Nacional de Atividades Econômicas

- A CNAE é o sistema oficial de classificação e padronização das atividades econômicas no Brasil, instituído e mantido pela Comissão Nacional de Classificação (CONCLA), sob coordenação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Define categorias que permitem organizar, comparar e registrar estatisticamente todas as atividades produtivas do país.

A padronização é essencial para fins fiscais, estatísticos, cadastrais e administrativos, sendo adotada em órgãos como Receita Federal, juntas comerciais e institutos de pesquisa. Cada empresa deve escolher um código CNAE principal, que representa sua atividade econômica predominante, podendo indicar códigos secundários correspondentes a atividades complementares.

A versão vigente é a CNAE 2.0, estruturada em cinco níveis hierárquicos:

- Seções: 21 grandes áreas de atividade (ex.: indústria, construção, comércio);
- Divisões: 87;
- Grupos: 285;
- Classes: 673;
- Subclasses: 1.301.
- Sua base de referência internacional é a ISIC Rev. 4 (International Standard Industrial Classification), das Nações Unidas, equivalente ao NAICS (América do Norte) e ao NACE (União Europeia).
- Consulta e detalhes completos estão disponíveis no portal do IBGE: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html> [IBGE | Concla | Busca online].



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

Neste tópico constam informações adicionais sobre o desenvolvimento do modelo do Índice de Aptidão de Reúso (IAR). O modelo utiliza o Analytic Hierarchy Process (AHP), e aspectos muito específicos – como detalhes dos métodos de análise de consistência e derivação de prioridades – não são explorados em profundidade, sendo recomendada a consulta a referências adicionais, como Saaty (2008).

Após a definição dos critérios que compõem o modelo (C1 a C4), procede-se à comparação paritária de cada critério em relação aos demais, utilizando uma escala de importância que varia de 1 a 9, conforme apresentado na Tabela 23.

TABELA 23 – 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: adaptado 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 24 (critérios) e na Tabela 25 (subcritérios).

TABELA 24 – Matriz de importâncias paritárias – Nível 1 – Critérios

Critério	C1 VAB industrial	C2 Demandas industriais	C3 Geração de esgotos	C4 Balanço hídrico
C1 VAB industrial	1	1/2	2	2
C2 Demandas industriais	2	1	2	2
C3 Geração de esgotos	1/2	1/2	1	3
C4 Balanço hídrico	1/2	1/2	1/3	1

Fonte: elaboração própria.

TABELA 25 – Matriz de importâncias paritárias – Nível 2 – Subcritérios

Subcritério	C1.1 VAB industrial em 2021	C1.2 Variação % do VAB industrial entre 2011-2021
C1.1 VAB industrial em 2021	1	3
C1.2 Variação % do VAB industrial entre 2011-2021	1/3	1

Fonte: elaboração própria.

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 (λ_{\max}) 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 (λ_{\max}) e a Razão de Consistência (RC) da matriz, são apresentados na Tabela 26.

TABELA 26 – Pesos finais – Nível 1 – Critérios

Critério	Peso (P)	Ranking
C1 – VAB industrial	0,269	2°
C2 – Demandas industriais	0,381	1°
C3 – Geração de esgotos	0,222	3°
C4 – Balanço hídrico	0,128	4°
Total	1,000	–

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

TABELA 27 – Pesos finais – Nível 2 – Subcritérios

Critério	Peso (P)	Ranking
C1.1 – VAB industrial em 2021	0,750	1°
C1.2 – Variação % do VAB industrial entre 2011-2021	0,250	2°
Total	1,000	–

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

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 28 apresenta a normalização aplicada a cada critério, bem como os gráficos com o valor absoluto (eixo x) e o normalizado (eixo y).

TABELA 28 – Normalização dos valores dos critérios – Nível 1

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

Sigla	Função/ regra de normalização
C3 Geração de esgotos	$x_{norm} = \frac{x - x_{mín}}{x_{máx} - x_{mín}}$ <p>Convergência ao máximo. Maiores valores de demandas industriais resultam em maior valor de C2</p>
C4 Balanço hídrico quali quantitativo	<p>Criticidade quali quantitativa= 1,0 Criticidade quantitativa= 0,667 Criticidade qualitativa= 0,333 Condição satisfatória= 0</p> <p>Convergência: maior criticidade de balanço hídrico conduz a maiores valores de C4</p>

x_{norm} = valor normalizado. $x_{mín}$ = valor mínimo da série. $x_{máx}$ = valor máximo da série. x = valor não normalizado.

Fonte: elaboração própria.

TABELA 29 – 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>

x_{norm} = valor normalizado. $x_{mín}$ = valor mínimo da série. $x_{máx}$ = valor máximo da série. x = valor não normalizado.

Fonte: elaboração própria.

ANEXO B – FORMATOS DE SOLICITAÇÃO DE DADOS

A. Outorgas de captação

Para fins de caracterização e mapeamento das demandas industriais no estado, solicita-se a disponibilização das bancos de dados, em formato editável (xls, csv, txt etc.) de outorgas de captação concedidas, com os seguintes principais dados:

- ID (código de identificação);
- nome do requerente;
- nome fantasia do requerente;
- CNPJ do requerente;
- tipo de atividade econômica exercida pelo requerente;
- classificação da atividade econômica exercida pelo requerente de acordo com a tipologia da CNAE 2.0;
- tipo de interferência (captação, lançamento etc.);
- finalidade de uso (industrial, urbano, irrigação etc.);
- fonte (superficial, subterrânea);
- vigência;
- status (concedida, negada etc.);
- vazão outorgada;
- vazão consumida (se houver);
- coordenadas (para georreferenciamento);
- outros dados complementares não citados acima.

B. Dados sobre ETEs

Para fins de mapeamento das possíveis ofertas de esgoto municipal tratado para produção de água de reúso, bem como para adaptação da modelagem de custos de produção, distribuição e reservação de água de reúso no estado, solicitam-se as seguintes informações.

1. Dados das ETEs operadas pela empresa:

- a) ID (código de identificação da ETE, caso existente)
- b) Nome da ETE
- c) Município
- d) Municípios atendidos
- e) Status (ativa, em projeto, em obras)

- f) Vazão de projeto
- g) Vazão afluyente (média)
- h) Processo de tratamento
- i) Eficiência média de remoção de DBO
- j) Coordenadas
- k) Planos futuros (expansão, desativação etc.) com especificação de alterações de vazão e/ou processo de tratamento.
- l) Existência ou planejamento de iniciativas de reúso na ETE, seja interno (própria ETE) ou venda/disponibilização a terceiros.

2. Tarifas de energia elétrica praticadas para a empresa.

- a) Caso a Companhia de Energia Elétrica possua tarifa diferenciada para a empresa, favor informar.

A planilha a seguir é enviada em formato editável para que as empresas a preencham. Esse formato se mostrou como a melhor forma de receber dados das empresas de saneamento.

ANEXO C – PARÂMETROS PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS

As estimativas de custos utilizadas nos estudos foram obtidas de CNI (2020) e Fukasawa (2021) e reajustadas pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). 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 30.

TABELA 30 – Síntese de métodos, fontes de dados e funções para estimativa de custos
– valores em BRL e atualizados para jan/2025 com base em índices financeiros brasileiros

Item	Capex	Opex
Tratamento MBR	$Capex_{MBR} = 4,445 \times Q^{-0,154}$ $Capex_{MBR}$ (R\$/m³/ano), Q (m³/s)	$Opex_{MBR} = 0,3238 \times Q^{-0,179} + EE \times TE$ $Opex_{MBR}$ (R\$/m³), Q (m³/s), EE (kWh/m³), TE (R\$/kWh)
Tratamento OR	$Capex_{OR} = -2,024 \times \ln(Q) + 8,185$ $Capex_{MBR}$ (R\$/m³/ano), Q (m³/s)	$Opex_{OR} = 1,3943 \times Q^{-0,269}$ $Capex_{OR}$ (R\$/m³/ano)
Estações elevatórias	$Capex_{EE} = 0,1558 \times Q^{-0,514}$ $Capex_{EE}$ (R\$/m³/ano)	$Opex_{ad} = \frac{P \times t \times TE + 4,5\% (Capex_{EE} + Capex_{ad})}{Q_{anual}}$ $Opex_{ad}$ (R\$/m³), P (kW), TE (R\$/kWh), t (h/ano), $Capex_{EE}$ (R\$), $Capex_{ad}$ (R\$), Q_{anual} (m³/ano)
Adutoras	$Capex_{ad} = -0,0011 \times 10^{-2} DN^2 + 2,925 DN + 82,4$ $Capex_{ad}$ (R\$/m), DN (mm)	
Reservação	$Capex_{res} = 6167 \times V^{-0,29}$ $Capex_{res}$ (R\$/m³ de reservação), V (m³ de reservação)	$Opex_{res} = 4,5\% \times Capex_{res} \times V$ $Opex_{res}$ (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: CNI (2025).

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.
- 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.

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

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

Mario Augusto de Campos Cardoso
Gerente de Recursos Naturais

Maria do Socorro Lima Castello Branco
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO

André Nascimento Curvello
Diretor de Comunicação

Superintendência de Publicidade e Mídias Sociais

Mariana Caetano Flores Pinto
Superintendente de Publicidade e Mídias Sociais

Carolina Helena Rattacaso Hagen
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

Universidade de São Paulo – USP**Centro Internacional de Referência em Reúso de Água da USP**

José Carlos Mierzwa
Bruno Nogueira Fukasawa
Consultores

Editorar Multimídia
Projeto gráfico e diagramação

 www.cni.com.br

 [/cnibrasil](https://www.facebook.com/cnibrasil)

 [@cnibr](https://www.instagram.com/cnibr)

 [/cniweb](https://www.youtube.com/cniweb)

 [/company/cni-brasil](https://www.linkedin.com/company/cni-brasil)



9 788579 573279

CNI *Confederação
Nacional
da Indústria*