



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO CEARÁ – IFCE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA INOVAÇÃO – PROFNIT**

LUCAS DANIEL DE CARVALHO SANTOS

**TECNOLOGIAS RELACIONADAS AO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL
APLICÁVEIS AO ESTADO DO CEARÁ.**

FORTALEZA

2025

LUCAS DANIEL DE CARVALHO SANTOS

**TECNOLOGIAS RELACIONADAS AO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL
APLICÁVEIS AO ESTADO DO CEARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação – PROFNIT- Ponto Focal Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza. Área de concentração: Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Glória Maria Marinho Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Freire Andrade

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237t Santos, Lucas Daniel de Carvalho.
TECNOLOGIAS RELACIONADAS AO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL APLICÁVEIS AO
ESTADO DO CEARÁ. / Lucas Daniel de Carvalho Santos. - 2025.
257 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado Profissional em
Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, Campus Fortaleza,
2025.

Orientação: Profa. Dra. Glória Maria Marinho Silva.

Coorientação: Prof. Dr. Marcus Vinícius Freire Andrade.

1. Reúso de água. 2. Tecnologias hídricas. 3. Gestão hídrica. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 658.4063

LUCAS DANIEL DE CARVALHO SANTOS

**TECNOLOGIAS RELACIONADAS AO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL
APLICÁVEIS AO ESTADO DO CEARÁ.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação - PROFNIT- Ponto Focal Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Fortaleza.

Aprovada em: 19 / 12 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Glória Maria Marinho Silva
Instituto Federal do Ceará – campus Fortaleza

Prof. Dr. Marcus Vinícius Freire Andrade
Instituto Federal do Ceará – campus Sobral

Prof.^a Dr.^a Maria Benedita Lopes Rocha
Núcleo de Estudos e Pesquisas do Nordeste – NEPEN

Prof.^a Dr.^a Kelly de Araújo Rodrigues
Instituto Federal do Ceará – campus Fortaleza

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, à minha esposa Livia, à minha mãe Lúcia, ao meu irmão Thiago e à minha tia Rosemilia (in memoriam). Essa conquista é nossa, saibam que somente com todo o suporte, incentivo e amor de vocês foi possível chegar até aqui. Obrigado por tanto, amo vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido cumprir essa jornada tão improvável e desafiadora, sempre me guiando em segurança nos caminhos pessoais e profissionais.

À minha amada esposa Livia, pelo apoio incondicional, paciência, incentivo e amor durante toda essa jornada. Essa vitória não seria possível sem você e é mais uma das inúmeras conquistas que ainda teremos juntos por toda a nossa vida.

À minha mãe, Lúcia, e ao meu irmão, Thiago, por sempre terem acreditado no meu potencial e nunca terem poupado esforços e recursos em prol do meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a. Glória Maria Marinho Silva, grande referência profissional, por todos os conhecimentos repassados, pelas valiosas contribuições durante o mestrado e pela prontidão em ajudar sempre.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marcus Vinicius Freire Andrade, colega de trabalho e amigo, pelo conhecimento, auxílio e apoio prestados sempre com muita presteza.

À minha cunhada Cíntia, pelo suporte dado na cidade de Fortaleza sempre que precisei. À família da minha esposa Livia, pelo amor e carinho que sempre me deram.

Ao PROFNIT, pela oportunidade de acesso a recursos fundamentais para a minha dissertação, como a plataforma *Orbit Intelligence*.

Aos colegas de turma, professores e profissionais do PROFNIT (2024.1), que fizeram essa caminhada ser única e inesquecível.

À minha tia Rosemilia (*in memoriam*), que contribuiu grandemente para meu desenvolvimento como estudante e como pessoa, sempre me ensinando os valores corretos e que a educação era o melhor caminho a ser seguido.

Ao meu irmão Vinícius, pelos cuidados quando criança e adolescente.

Aos meus familiares e amigos, que sempre me apoiaram e torceram por mim, ajudando na minha formação como pessoa e como profissional.

Ao meu pai Reginaldo (*in memoriam*), por ter feito parte da minha concepção humana.

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos vem enfrentando grandes desafios, tais como a elevação da demanda de água e o agravamento das secas como consequência das mudanças climáticas. O Brasil, apesar da falsa percepção de abundância hídrica, sofre com a disponibilidade hídrica desbalanceada, visto que os grandes centros urbanos e as áreas semiáridas possuem demandas hídricas superiores às ofertadas. Diante disso, o reúso de água assume papel estratégico para manutenção da oferta de água em quantidade e qualidade adequadas. O objetivo desse trabalho foi analisar as principais tecnologias associadas ao reúso de água aplicadas no mundo e no Brasil que possam ser implementadas também no estado do Ceará. A técnica de pesquisa foi documental e bibliográfica que contemplou as tecnologias relacionadas ao reúso de água nas bases do portal de periódicos da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através de uma revisão sistemática de literatura, na base patentária do software *Orbit Intelligence* e na base de dados empresariais do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), a DataSebrae Painéis. Ficou evidente a crescente proteção de tecnologias de reúso de água por patentes no mundo, especialmente envolvendo o tratamento de água ou esgoto, tratamentos multietapas e processos de filtração. Outrossim, desigualdades regionais e limitações foram explicitadas na matriz empresarial tanto no cenário brasileiro quanto no cearense. Os resultados demonstraram o desenvolvimento de tecnologias de reúso de água, sobretudo para o reúso agrícola, em edificações, usos urbanos e reúso industrial. Identificou-se ainda a necessidade de avançar nos aspectos regulatórios, de monitoramento e de gerenciamento de riscos à saúde. Desse modo, foi constatada a importância do reúso de água como fonte hídrica alternativa, e que é imprescindível a coordenação de esforços múltiplos nas esferas acadêmica, governamental, empresarial e social para o desenvolvimento, a disseminação e a segurança das práticas de reúso de água.

Palavras-chave: Reúso de água. Tecnologias hídricas. Gestão hídrica. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Water resource management has faced significant challenges, such as increased water demand and worsening droughts because of climate change. Brazil, despite the false perception of water abundance, suffers from unbalanced water availability, as large urban centers and semi-arid areas have water demands exceeding the available supply. Therefore, water reuse assumes a strategic role in maintaining the supply of water in adequate quantity and quality. The objective of this work was to analyze the main technologies associated with water reuse applied worldwide and in Brazil that could also be implemented in the state of Ceará. The research technique was documentary and bibliographic, encompassing technologies related to water reuse in the databases of the CAPES (*Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel*) periodicals portal through a systematic literature review, the patent database of the Orbit Intelligence software, and the business database of the *Brazilian Micro and Small Business Support Service* (SEBRAE), DataSebrae Panels. It became evident that water reuse technologies are increasingly protected by patents worldwide, especially those involving water or wastewater treatment, multi-stage treatments, and filtration processes. Furthermore, regional inequalities and limitations were made explicit in the business matrix, both in Brazil and in the state of Ceará. The results demonstrated the development of water reuse technologies, especially for agricultural and industrial reuse, as well as the need to advance in regulatory, monitoring, and health risk management aspects. Thus, the importance of water reuse as an alternative water source was confirmed, emphasizing, however, that the coordination of multiple efforts in the academic, governmental, business, and social spheres is essential for the development, dissemination, and safety of water reuse practices.

Keywords: Water reuse. Water technologies. Water management. Sustainability.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	Termo de busca estratégicos.....	41
QUADRO 2	Sistematização dos artigos por eixos temáticos.....	45
QUADRO 3	Especificações dimensionais do Oxylag e HRAP.....	59
QUADRO 4	Dez códigos IPC mais citados.....	90
QUADRO 5	Casos de oposição de patentes.....	94
QUADRO 6	Patentes com <i>status</i> legal de vivas.....	98
QUADRO 7	Códigos IPC mais citados pelas patentes.....	100
QUADRO 8	Empresas segundo as atividades CNAE selecionadas no Brasil...	104
QUADRO 9	Empresas segundo as atividades CNAE selecionadas no Ceará.	108

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Aplicações de reúso de água na indústria.....	26
FIGURA2	Eficiências de tratamentos biológicos de esgoto convencionais e emergentes.....	28
FIGURA 3	Evolução regulatória do reúso de água.....	29
FIGURA 4	Modalidades e parâmetros de reúso Coema 02/2017.....	31
FIGURA 5	Fluxograma de etapas da pesquisa patentária.....	41
FIGURA 6	Distribuição dos artigos por categoria de reúso.....	41
FIGURA 7	Reúso agrícola: tecnologias e abordagens.....	53
FIGURA 8	Sistema de tratamento de águas cinzas.....	54
FIGURA 9	Irrigação por aspersão no cultivo de hortaliças.....	55
FIGURA 10	Componentes do sistema de reúso familiar com filtro biológico.....	56
FIGURA 11	Planta piloto do tratamento com lagoas em série - COHRAP.....	59
FIGURA 12	Fotos do tanque Oxylag com difusão de ar.....	60
FIGURA13	Vista esquemática da instalação de recuperação de recursos hídricos da Universidade de Palermo.....	61
FIGURA14	Vista esquemática da estação piloto de tratamento de águas residuais e do sistema de recuperação de nutrientes.....	61
FIGURA15	Composição química da vinhaça antes e depois do tratamento com <i>T. sanguineus</i>	62
FIGURA16	Fluxograma de fabricação e montagem do sistema de reúso de água.....	66
FIGURA17	Representação em perspectiva isométrica da estrutura do sistema de reúso de água.....	67
FIGURA18	Diagrama hidráulico do sistema de reúso de água.....	67
FIGURA 19	Diagrama elétrico do sistema de reúso de água.....	68
FIGURA 20	Sistema de reúso de água para destiladores Pilsen.....	68
FIGURA 21	Planta piloto do Wetland híbrido.....	72
FIGURA 22	Peso dos indicadores e parâmetros locais e globais.....	74
FIGURA 23	Índice de viabilidade de reúso de água.....	74
FIGURA 24	Diferenças entre os reúsos potáveis.....	76
FIGURA 25	Diagrama do fluxo de processo do reator MA – MBR.....	80
FIGURA 26	Equipamento de fluidização de areia.....	81
FIGURA 27	Layout da ETE Corleone no GPS- X.....	82

FIGURA 28	Layout do sistema Piloto e membrana UF para recuperação da água	82
FIGURA 29	Componentes refratários em águas residuárias.....	85
FIGURA 30	Tecnologias de reúso de água em alta.....	87
FIGURA 31	Patentes por <i>status</i> legal.....	87
FIGURA 32	Distribuição de patentes por países protegidos.....	88
FIGURA 33	Número de patentes protegidos por países.....	89
FIGURA 34	Evolução no número de patentes por ano.....	90
FIGURA 35	Patentes por domínio tecnológico.....	93
FIGURA 36	Dez maiores depositantes por <i>status</i> legal.....	93
FIGURA 37	Distribuição por <i>status</i> legal.....	98
FIGURA 38	Evolução das patentes por ano.....	100
FIGURA 39	Patentes por áreas tecnológicas.....	102
FIGURA 40	Dez maiores depositantes por <i>status</i> legal.....	103
FIGURA 41	Sistema de reúso de água, para descarga no vaso sanitário.....	104
FIGURA 42	Total de empresas por região do país.....	106
FIGURA 43	Empresas por setor de atuação no Brasil.....	107
FIGURA 44	Empresas de acordo com setor de atuação por região do Brasil.....	107
FIGURA 45	Cidades com mais empresas da área de reúso de água no Ceará..	110
FIGURA 46	Porte das empresas por cidades.....	111
FIGURA 47	Setor de atuação por cidades.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAFe	Comunidade Acadêmica Federada
CAG	Carvão Ativado Granular
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará
CAPES	Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Condutividade Elétrica
CIT	Centro de Inovação Tecnológica
CNAE	Classificação Nacional das Atividades Econômicas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO2	Gás Carbônico
COEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPP	Empresa de Pequeno Porte
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FB	Filtro Biológico
FDD	Filtração Direta Descendente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPC	<i>International Patent Classification</i>
LAT	Lagoas de Alta Taxa
LGA	Lodo Granular Aeróbio
MA-MBR	Biorreator de Membranas Aeradas por Bolhas
ME	Microempresa
MEI	Microempreendedor Individual
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica

NBR	Norma Brasileira Registrada
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PH	Potencial Hidrogeniônico
PROFNIT	Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
QMRA	<i>Quantitative Microbial Risk Assessments</i>
RCF	Receita Federal do Brasil
SBF	Sistema de Bioágua Familiar
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SQIE	Substâncias Químicas de Interesse Emergente
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	<i>Anaerobic Upflow Sludge Blanket</i>
UE	União Europeia
UF	Ultrafiltração
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	16
2	INTRODUÇÃO	17
3	JUSTIFICATIVA	19
3.1	LACUNA A SER PREENCHIDA PELO TCC	19
3.2	ADERÊNCIA AO PROFNIT	19
3.3	IMPACTO	19
3.4	APLICABILIDADE	20
3.5	INOVAÇÃO	20
3.6	COMPLEXIDADE	20
4	OBJETIVOS	21
4.1	OBJETIVO GERAL	21
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
5	REFERENCIAL TEÓRICO	22
5.1	REÚSO DE ÁGUA	22
5.1.1	Contextualização e Conceito	22
5.1.2	Categorias	24
5.1.3	Tecnologias de produção de água para reúso	26
5.1.4	Legislação aplicável	28
5.2	PATENTES E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA	32
5.3	EMPRESAS	34
5.3.1	Conceito	34
5.3.2	Empresas e sustentabilidade hídrica	36
6	METODOLOGIA	39
6.1	TECNOLOGIAS ATUAIS E EMERGENTES BASEADAS EM ARTIGOS	39
6.2	TECNOLOGIAS DE REÚSO DE ÁGUA PATENTEADAS	39
6.3	MATRIZ EMPRESARIAL RELACIONADA AO REÚSO DE ÁGUA	43

7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
7.1	TECNOLOGIAS ATUAIS E EMERGENTES BASEADAS EM ARTIGOS	44
7.1.1	Reúso Agrícola	52
7.1.2	Reúso Industrial	65
7.1.3	Reúso em edificações e uso urbano	70
7.1.4	Reúso potável	75
7.1.5	Outras aplicações Inovadoras	79
7.2	TECNOLOGIAS NA LITERATURA PATENTÁRIA	87
7.2.1	Patentes de reúso no cenário global	87
7.2.2	Patentes de reúso no Brasil	97
7.3	MATRIZ EMPRESARIAL RELACIONADA AO REUSO DE ÁGUA	104
7.3.1	Panorama Nacional	105
7.3.2	Panorama no Ceará	108
8	CONCLUSÃO	113
9	PERSPECTIVAS FUTURAS	116
10	ENTREGÁVEIS COMO PRODUTOS DE TCC	116
11	CRONOGRAMA	117
	REFERÊNCIAS	118
	APÊNDICE A – Matrix FOFA (SWOT)	127
	APÊNDICE B – Modelo de Negócio CANVAS	128
	APÊNDICE C – Artigo submetido ou publicado	129
	APÊNDICE D – Carta do demandante	150
	APÊNDICE E – Produto técnico-tecnológico	150
	ANEXO A – Comprovante de submissão/publicação de artigo	256

1 APRESENTAÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais e sua vasta extensão territorial é beneficiada pela existência de mananciais superficiais e subterrâneos com volumes suficientes para o abastecimento da nação. Apesar disso, existe uma desigualdade entre a ocupação humana e a existência de corpos hídricos compatíveis com as demandas, principalmente nos grandes centros urbanos.

Esses aspectos acarretam problemas de disponibilidade hídrica, que afeta todo o país tanto em quantidade quanto em qualidade, especialmente as regiões que sofrem com período longos de estiagem, como a região Nordeste. As características climáticas locais interferem na ocorrência do ciclo hidrológico e podem agravar os danos à população e aos animais, pelas condições extremas de secas e enchentes. Ademais, a poluição e o desperdício de água agravam ainda mais essa situação, por comprometer os usos múltiplos da água, sobretudo quanto aos usos mais nobres (água potável) para consumo humano e animal.

Diante desse cenário complexo, é fundamental uma gestão eficiente dos recursos hídricos, contando com a participação ativa de todos os usuários. Boas práticas de consumo consciente ganham destaque e o reúso de água assume papel estratégico para manutenção da oferta de água em quantidade e qualidade adequadas.

Nessa perspectiva, este trabalho analisou as principais tecnologias associadas ao reúso de água no Brasil, que possam ser implementadas no estado do Ceará. Os resultados obtidos são úteis para subsidiar adoção de boas práticas de reúso de água com fins agrícolas, industriais, em edificações, em usos urbanos, ambientais e potáveis, tanto na esfera pública quanto privada. Além disso, esse estudo oportuniza o desenvolvimento de estudos nessa temática e a atuação de mais profissionais e empresas nesse ramo.

Destaca-se ainda que o trabalho desenvolvido resultou na elaboração de um livro sobre essas tecnologias, estruturado de uma forma didática e acessível ao público acadêmico, profissional, empresarial e governamental.

2 INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos vem enfrentando grandes desafios, como a elevação da demanda de água em função do crescimento populacional e da mudança nos hábitos de consumo, além do agravamento das secas como consequência das mudanças climáticas. O Brasil, apesar da falsa percepção de abundância hídrica, apresenta extensa área territorial em clima semiárido, incluindo o estado do Ceará, assim como grandes centros urbanos com demandas de água superiores às ofertas. Além disso, sofre com a distribuição desigual de maior contingente populacional em áreas com menor disponibilidade hídrica, a exemplo do estado de São Paulo (Santos *et al*, 2025).

Nesse cenário, os mananciais superficiais e subterrâneos, que são as fontes de água convencionais, se tornam insuficientes para o desenvolvimento socioeconômico e geram um ambiente de insegurança hídrica, principalmente para a produção de alimentos (agricultura irrigada), para a cadeia produtiva de bens consumíveis (indústria) e para as necessidades básicas da sociedade (abastecimento doméstico). Por essas razões, as fontes de água de origem alternativa aparecem como um importante instrumento para a diversificação da matriz hídrica. Dentre as principais fontes de água de origem alternativa, a água para reúso, proveniente das águas residuárias tratadas, vem sendo amplamente adotada no mundo (Santos *et al*, 2025).

O reúso de água é uma prática sustentável, constituindo-se em uma estratégia para a conservação dos recursos hídricos e sua disponibilidade às gerações futuras. As principais categorias que compõem o reúso são: irrigação, aquicultura, finalidades ambientais, aproveitamento de águas de chuva, usos urbanos não potáveis (reúso direto não potável), usos industriais e reúso potável (Cetesb, 2024).

Ainda nesse contexto, o reúso de água é destaque entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Isso porque está diretamente relacionado em três metas - 6.3, 6.4 e 6.6a do ODS número 6, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento universalmente (Brasil, 2025). Esse ODS aborda de forma indissociável a temática do saneamento e higiene da água, tendo em vista que a ausência destes pode propiciar a contaminação do solo, de rios, mares e fontes de água para abastecimento (Ferreira, 2024).

Nesse sentido, a meta “6.3” propõe a redução à metade da proporção de águas residuais não tratadas e um aumento substancial da reciclagem e reutilização segura globalmente. Por sua vez, a meta “6.4” preconiza aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez hídrica. Finalmente, a meta “6.6a” contempla a cooperação internacional, capacitação para as nações e programas relacionados à água e ao saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso (Brasil, 2025).

Por oportuno, o estado do Ceará é o oitavo mais populoso do país, com uma população estimada em 9.268.836 habitantes para o ano de 2025. Possui um total de cento e oitenta e quatro municípios e uma área territorial de 148.894,444 km² (IBGE, 2025). Em relação ao saneamento básico, o estado possui uma cobertura de abastecimento de água de 99,6 % da população. Contudo, em relação ao esgotamento sanitário apenas 83,8% da população tem acesso (SINISA, 2024).

Assim, o estado do Ceará também demanda por evolução na gestão hídrica e indicadores de saneamento básico, que estão aquém da universalização almejada, sendo o reúso de água de grande importância nessa conjuntura. Nessa perspectiva, este trabalho tem por objetivo analisar as principais tecnologias associadas ao reúso de água no Brasil e que possam ser implementadas no estado do Ceará.

3 JUSTIFICATIVA

3.1 LACUNA A SER PREENCHIDA PELO TCC

Ao analisar os principais aspectos científicos, tecnológicos e mercadológicos do reúso de água, esta pesquisa contribui para enfrentar as mazelas sociais percebidas no acesso deficitário ao saneamento básico, especialmente quanto precário acesso à água em quantidade e qualidade adequadas, à coleta e ao tratamento de esgoto, fatores que prejudicam a saúde e a qualidade de vida da população. Não obstante, considerando a enorme lacuna na aplicação das práticas de reúso de água, o material didático elaborado proporcionará informações relevantes nesse escopo em linguagem acessível, contribuindo para a evolução da atuação do meio acadêmico, governamental e empresarial nessa área tão importante e estratégica.

3.2 ADERÊNCIA AO PROFNIT

Esse projeto relaciona itens de propriedade intelectual, posto que faz uma análise de artigos e patentes, bem como itens de transferência de tecnologia, uma vez que o eixo mercadológico, contemplando empresas e seus produtos e serviços, também faz parte do escopo do projeto.

3.3 IMPACTO

O projeto em questão foi pensado para suprir lacunas existentes quanto a aplicação e o desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao reúso de água, tanto no eixo mercadológico quanto no eixo acadêmico. O demandante do projeto é o Centro de Inovação Tecnológica do IFCE – campus Sobral. O foco de aplicação do produto consiste em oportunizar embasamento técnico aos alunos, inclusive egressos, de cursos relacionados ao saneamento e meio ambiente, aos profissionais e às empresas que atuam no setor de saneamento e de sustentabilidade.

3.4 APLICABILIDADE

O trabalho proposto possui uma alta aplicabilidade, uma vez que a natureza do material tem relação direta com implementações práticas, por se tratar de um estudo que, apesar de um direcionamento para o estado do Ceará, engloba a esfera nacional brasileira, permite sua aplicação em todo o território nacional. Não obstante, é possível a replicação para outros estados com realidades semelhantes. Diante do exposto, o projeto possui uma alta abrangência realizada, alta abrangência potencial e boa margem de replicabilidade.

3.5 INOVAÇÃO

No que se refere à inovação, o projeto proposto tem um nível alto de teor inovativo, tendo em vista que combina conhecimentos inéditos, trazidos pelos artigos científicos recentes e pelas patentes de invenção, com conhecimento pré-estabelecidos relacionados às patentes de modelo de utilidade e produtos e serviços técnicos inseridos no eixo mercadológico.

3.6 COMPLEXIDADE

O projeto apresenta uma complexidade alta, posto que combina diferentes tipos de conhecimentos, especialmente da literatura não patentária e patentária, e envolve a interação de múltiplos atores, como por exemplo do eixo acadêmico e do eixo empresarial.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o panorama das tecnologias relacionadas ao reúso de água no Brasil, potencialmente aplicáveis ao estado do Ceará.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as tecnologias de reúso em alta e emergentes conforme a bibliografia mais recente.
- Analisar a situação dos depósitos de patentes sobre reúso de água no cenário mundial, sobretudo relacionada à participação do Brasil.
- Verificar o número de patentes de reúso de água no mundo e no país.
- Avaliar a evolução de patentes relacionadas ao tema depositadas no Brasil nos últimos anos.
- Identificar as patentes mais relevantes de reúso de água no Brasil e no mundo.
- Mapear quais são as principais tecnologias de reúso de água em desenvolvimento protegidas por patentes, quais as áreas tecnológicas relacionadas e quais os principais depositantes envolvidos.
- Analisar documentalmente o cenário no Brasil, no Nordeste e no estado do Ceará da matriz empresarial com atividades que tenham relação com o reúso de água, conforme o setor, o porte, a localização e a subárea de atuação das empresas.
- Verificar os principais entraves para o reúso de água no Brasil.
- Produzir um livro técnico-tecnológico sobre as tecnologias de reúso de água aplicáveis ao Brasil e ao estado do Ceará.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 REÚSO DE ÁGUA

5.1.1 Contextualização e Conceito

O reúso de água consiste na prática de utilização de águas residuárias no meio urbano ou no meio rural, com o requisito primordial de adequação da sua qualidade ao uso pretendido, sempre com base na segurança sanitária-ambiental (Santos *et al.*, 2025). Por sua parte, o processo de reúso interno da água (no local onde é gerada), antes de sua descarga no sistema de tratamento, diretamente ao ponto de reúso, é chamado de reciclagem (Cetesb, 2024).

É importante destacar que as fontes potenciais para geração de água de reúso podem incluir efluentes de alguns processos industriais e de refrigeração, dessalinização da água do mar e das águas salobras subterrâneas, águas pluviais e de escoamento agrícola, reutilização de águas cinzas (águas do banho ou da lavagem que não contêm alimentos concentrados ou dejetos humanos) e esgotos sanitários tratados dos sistemas públicos de esgotamento sanitário. Essa última é considerada a fonte mais confiável e significativa em comparação com as demais fontes (Cetesb, 2024).

No que se refere às terminologias adotadas, destaca-se que o termo "reutilização da água" é mais recente do que o termo "reutilização de águas residuais". De fato, as águas residuais são sempre utilizadas (e não reutilizadas) indiretamente, pois são lançadas em corpos d'água a montante das comunidades, de onde serão captadas para tratamento e distribuição, o que caracteriza o reúso potável indireto. Portanto, quando a intenção é recuperar ou reciclar água de águas residuais, o termo mais abrangente é "reutilização da água" (Santos *et al.*, 2024).

Ademais, no caso específico da irrigação agrícola, quando nutrientes são utilizados juntamente com água para fertilização, o termo "reutilização de águas residuais" é mais apropriado. Todavia, atualmente o termo "reutilização da água", em sentido amplo, tem sido mais amplamente adotado no contexto da aplicação direta da prática, em que a água é reciclada ou recuperada de águas residuais tratadas. Além disso, o termo "reutilização de águas residuais" pode contribuir para a rejeição da

prática, enquanto "reutilização da água" pode aumentar sua aceitação (Santos *et al.*, 2024).

A utilização de efluente tratado é uma prática que carrega intrinsecamente riscos para a saúde pública e para o meio ambiente. Conhecida como simplesmente reúso de água, a prática encontra grande potencial de aplicação nas regiões mais afetadas pela seca, a partir de uma estruturação de mecanismos legais para a utilização racional e em segurança (Santos; Lima, 2022).

Na perspectiva dos riscos relacionados ao reúso de água, a Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere várias abordagens de avaliação de risco que podem responder a diferentes necessidades de gestão. Estas são modelos qualitativos e semiquantitativos ou métodos matemáticos quantitativos, além da inspeção sanitária, que envolve uma abordagem simples e eficaz para pequenos sistemas. Todas as abordagens, de diferentes maneiras, estimam os possíveis riscos associados à prática de reutilização, para reduzi-los a um nível mínimo considerado aceitável. A avaliação quantitativa, conhecida pela sigla QMRA (Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico), combina o conhecimento científico sobre a presença e a natureza dos patógenos, seu potencial destino e transporte no ciclo da água e cenários de exposição referentes ao receptor e seus efeitos na saúde que resultam dessa exposição (OMS, 2017).

Conforme dispõem Lima *et al.* (2022), a avaliação qualitativa ou semiquantitativa baseia-se na abordagem da matriz de risco, que permite avaliar diferentes riscos associados à qualidade da água, envolvendo uma análise da probabilidade de ocorrência da exposição a um determinado perigo e sua gravidade ou consequência, em caso de ocorrência.

A adoção de práticas que proporcionem uma melhor eficiência na gestão dos recursos hídricos, como a prática do reúso de água, é uma medida de enfrentamento à escassez hídrica. Esse reúso traz, entre outros benefícios, a consequente diminuição de despejos líquidos em corpos receptores, o aproveitamento de nutrientes e a liberação da água para utilização em fins mais nobres. (Damaceno; Cruvinel; Santos, 2023)

Nessa perspectiva, o desenvolvimento econômico e os conflitos pelo uso da água destacam-se no contexto da institucionalização da prática do reúso de água no Brasil. Quanto ao desenvolvimento econômico, a introdução da água de reúso na matriz hídrica regional ganha destaque e pode servir de impulsão para a produção de

alimentos tanto para consumo próprio como para comercialização, gerando movimentação econômica. Quanto aos conflitos pela água, o reúso de água tem papel fundamental na minimização de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas (Santos; Lima, 2022).

Assim, é preciso mudar o paradigma para orientar a tomada de decisões adequadas que permitam e incentivem avanços. Nesse âmbito, a circularidade da água, com seus fatores econômicos, ambientais, tecnológicos, sociais, institucionais e políticos, deve ser tomada como base para ações que definam políticas públicas apropriadas, no contexto da gestão eficiente dos recursos hídricos. Essas políticas devem seguir caminhos para a estruturação de marcos regulatórios adequados às diferentes características regionais, a fim de garantir uma prática de reúso de água segura, responsável, sustentável e economicamente viável. (Santos *et al.*, 2024)

5.1.2 Categorias

As possibilidades de utilização de água de reúso de maneira planejada podem ser divididas em duas grandes categorias: não-potável e potável. Os projetos de reúso de água destinam-se majoritariamente a aplicações não potáveis, que são: reúso agrícola para produtos não-comestíveis, reúso ambiental, reúso industrial, reúso recreacional com restrições, reúso municipal em áreas restritas, reúso municipal em áreas públicas, reúso recreacional sem restrições e reúso agrícola para produtos comestíveis. Outrossim, o reúso potável pode ser direto ou indireto, de forma que o indireto se subdivide em: reabastecimento de aquífero por injeção, reabastecimento de aquífero por infiltração e recarga de represa (ABES, 2015).

A prática do reúso também pode ser classificada em reúso indireto não-planejado da água, reúso indireto planejado da água, reúso direto planejado das águas e reciclagem de água. Em relação ao reúso de água para fins potáveis, o Brasil ainda não regulamentou a prática, tendo em vista que esta é associada a riscos de contaminação, devido à qualidade dos efluentes utilizados, que podem conter organismos patogênicos e contaminantes associados à origem do efluente, e compostos químicos que podem ser formados durante o tratamento ou que podem ser liberados do aquífero ou do sistema de distribuição (Carvalho, 2021).

As principais categorias de utilização da água de reúso são provenientes de sistemas públicos de esgotamento sanitário (Metcalf-Eddy *et al.*, 2007). As mais

proeminentes na categoria de não-potável são reúso agrícola, industrial, municipal e recreacional/ambiental. A irrigação agrícola é, indiscutivelmente, a principal aplicação de reúso de água proveniente de esgotos domésticos tratados, seguida por usos industriais e urbanos (Angelakis et al., 2018). Isso porque a agricultura é o setor que mais consome água no mundo e cujos requisitos de qualidade são, em grande parte, os mais fáceis de atingir (Metcalf-Eddy, 2003).

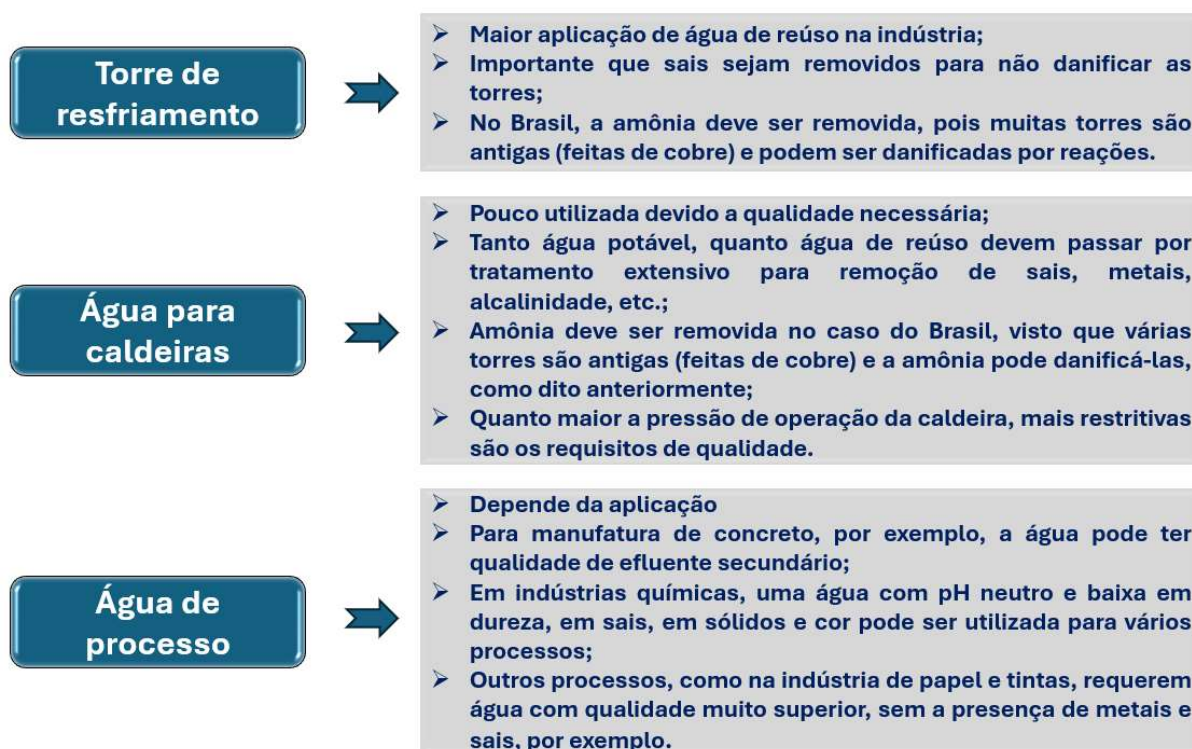
Nesse contexto, o reúso agrícola possui diversas vantagens, como a redução das pressões de captação de água nos mananciais e dos conflitos pelo uso da água, o gerenciamento e recuperação de nutrientes, entre outros fatores. Em que pese tais vantagens, além da elevada demanda por água desse setor no Brasil, a adoção da água para reúso na agricultura deve prezar pela qualidade, principalmente em irrigação de culturas consumidas cruas e de desenvolvimento rente ao solo, devido aos riscos potenciais para a saúde e o solo (Marques *et al.*, 2022).

O reúso de água em ambientes urbanos contempla diversos fins, tais como lavagem de ruas, de pátios, de estacionamento e de veículos, combate a incêndio, desobstrução de galerias de águas pluviais e de esgoto, irrigação paisagística, construção civil e descarga de vaso sanitário. Não obstante, para o reúso aquícola, ocorre o cultivo de organismos aquáticos, como peixes, crustáceos, moluscos, entre outros, em ambientes controlados. Portanto, ao considerar o cenário da produção de alimentos, essa modalidade é relevante consequências para o meio ambiente no país como um todo (Santos; Lima, 2022).

O reúso de água no ambiente industrial pode ser feito a partir do efluente doméstico ou a partir do efluente industrial. No caso do efluente doméstico, pode ser proveniente da própria indústria, quando há separação das linhas de produção de efluentes, ou de uma estação de tratamento de efluentes municipal, operada pela prestadora de serviço de saneamento regional (CEBDS, 2022).

As principais finalidades de água de reúso na indústria são para resfriamento, processos, alimentação de caldeiras, transporte de material. A principal vantagem da utilização dessa fonte é a segurança no fornecimento, sobretudo quando as indústrias estão próximas aos grandes volumes de efluentes gerados nos centros urbanos. Também é importante considerar os requerimentos de qualidade de efluente tratado para reúso industrial, além das normas que garantem a proteção da saúde (ABES, 2015). A Figura 1 mostra parâmetros a serem considerados nas principais aplicações industriais de reúso.

Figura 1 - Aplicações de reúso de água na indústria



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

O reúso industrial apresenta peculiaridades desse setor, como tipologias e processos distintos, de forma que as quantidades consumidas podem variar amplamente. Ademais, aplica-se o reúso interno no qual a produção da água para reúso pode ser consequência de atividades que ocorrem nas instalações internas do próprio pátio industrial. Oportunamente, é necessário obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina (Santos; Lima, 2022).

5.1.3 Tecnologias de produção de água para reúso

As tecnologias de produção de água para reúso estão diretamente ligadas ao tratamento de esgoto. As diferentes operações e processos que perfazem a tecnologia de tratamento de esgoto distinguem-se em função de seus propósitos, dos mecanismos em que se baseiam, da tipologia do reator que empregam, do respectivo grau de mecanização, das áreas ocupadas, dentre outros fatores (Santos; Mota Filho, 2022).

Atualmente existem variadas tecnologias de tratamento de esgoto utilizadas no Brasil, devido a um conjunto de fatores como: variação da composição do esgoto

gerado, destino do efluente tratado, aspectos climáticos, questões socioeconômicas, disponibilidade de área, proximidade da ETE a aglomerados urbanos, além de custos de implantação, operação e manutenção (dos Santos, 2019).

Apesar da grande diversidade, cerca de 37% das ETEs no Brasil empregam reatores anaeróbios em seu fluxograma de tratamento, sobretudo os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (ANA, 2021). Isso porque possuem vantagens pela elevada concentração de biomassa, baixa demanda de área, baixo custo de implantação e operação, ausência de consumo de energia elétrica no reator e geração de biogás (Santos; Mota Filho, 2022).

Contudo, limitações de desempenho desses reatores em relação à remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos têm inviabilizado o uso isolado da tecnologia, sendo necessária uma etapa de pós-tratamento que confira ao efluente uma qualidade suficiente para lançamento em corpos de água, mesmo em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), ou até mesmo quando o objetivo principal é o reúso (Santos; Mota Filho, 2022).

Nesse sentido, devido aos avanços tecnológicos nas duas últimas décadas, várias opções de tratamento surgiram, sendo outras aperfeiçoadas para o aumento das remoções dos constituintes presentes nos esgotos, e para a diminuição dos custos de investimento e operacionais. Dentro desse rol de tecnologias, são destacadas as lagoas de alta taxa (LAT), lodo granular aeróbio (LGA), membranas dinâmicas pós-reator UASB e sistemas com meio suporte baseado em espuma de poliuretano pós-reator UASB (Santos; Mota Filho, 2022). A Figura 2 traz uma comparação entre as principais tecnologias de tratamento biológico empregadas no Brasil, avaliando os aspectos de desempenho (eficiência) e de demanda de recursos.

Figura 2 - Eficiências de tratamentos biológicos de esgoto convencionais e emergentes

Sistema	Qualidade média efluente (concentrações mg-L ⁻¹)					Eficiências (%)		
	DQO	NH ₄ ⁺	N-total	P-total	SST	DQO	N-total	P-total
Lagoa de alta taxa (LAT)	110 a 180	< 5	> 15	> 5	80 a 120	65 a 75	< 30	< 35
LAT + Decantador	90 a 120	< 5	> 15	> 4	60 a 90	75 a 85	< 35	< 40
UASB + LAT ⁽¹⁾	100 a 150	10 a 15	> 20	> 3	100 a 130	60 a 80	< 40	< 50
UASB + LAT + Decantador	80 a 100	< 10	> 20	> 3	70 a 100	80 a 90	< 45	< 55
Lodo granular aeróbio	< 30	< 5	< 5	< 2	0 a 20	90 a 99	> 90	> 75
UASB + Membrana dinâmica	60 a 100	> 15	> 20	> 4	10 a 20	60 a 90	< 60	< 35
Reator UASB + FBP-espuma (remoção de matéria orgânica) ⁽²⁾	60 a 90	> 15	> 20	> 4	30 a 50	75 a 85	-	-
Reator UASB + FBP-espuma (remoção de NH ₄ ⁺) ⁽²⁾	< 40	< 10	> 15	> 4	< 25	> 85	30 a 65	< 35
UASB + LA	60 a 150	5 a 15	> 20	> 4	20 a 40	75 a 88	< 60	< 35
UASB + FBAS	60 a 150	5 a 15	> 20	> 4	20 a 40	75 a 88	< 60	< 35
UASB + FBP	70 a 180	> 15	> 20	> 4	20 a 40	75 a 88	< 60	< 35
LA convencional	45 a 120	< 5	> 20	> 4	20 a 40	80 a 90	< 60	< 35
LA aeração prolongada	30 a 100	< 5	> 20	> 4	20 a 40	83 a 93	< 60	< 35
LA batelada	30 a 100	< 5	> 20	> 4	20 a 40	83 a 93	< 60	< 35
LA convencional com remoção biológica de N	45 a 120	< 5	< 10	> 4	20 a 40	80 a 90	> 75	< 35
LA convencional com remoção biológica de N e P	45 a 120	< 5	< 10	1 a 2	20 a 40	80 a 90	> 75	> 75
MBR Aeróbio	< 30	< 5	1 a 4	2 a 5	0 a 5	90 a 95	> 75	> 70

Legenda: LAT - Lagoa de alta taxa; LGA - Lodo granular aeróbio; UASB - Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo; LA - Lodos ativados; FBAS - Filtro biológico aerado submerso; FBP - Filtro biológico percolador; MBR - Biorreatores de membrana; DQO - Demanda química de oxigênio; NH₄⁺ - Nitrogênio amoniacal; N-total - Nitrogênio total; P-total - Fósforo total; SST - Sólidos suspensos totais.

Notas: ⁽¹⁾Qualidade do efluente e desempenho sem o uso de decantadores secundários (VASSALLE *et al.*, 2020). ⁽²⁾Qualidade do efluente e desempenho sem o uso de decantadores secundários (ALMEIDA *et al.*, 2022).

Fonte: Adaptado de Santos e Mota Filho, 2022.

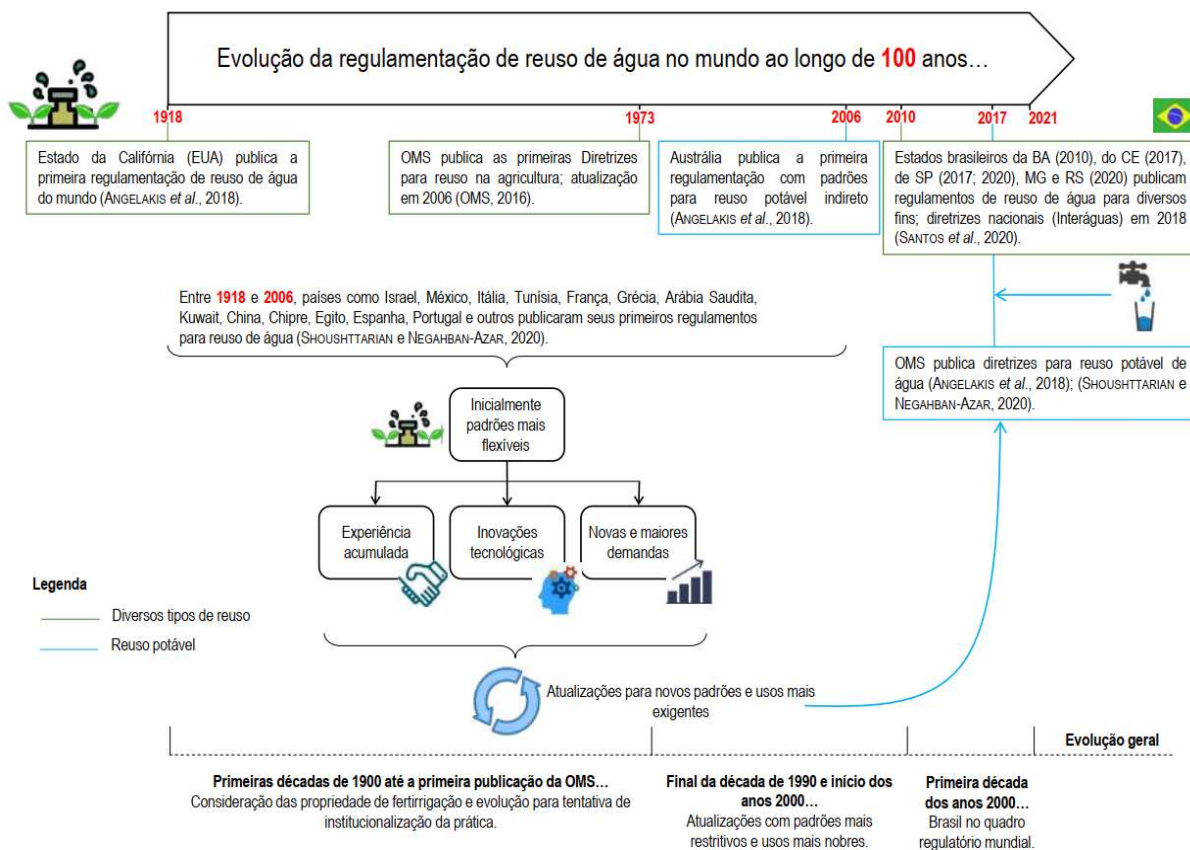
5.1.4 Legislação aplicável

Quanto à regulamentação da prática de reúso no mundo, destaca-se que iniciou em 1918 na Califórnia (EUA), considerando a aplicação de efluentes tratados em culturas não consumidas cruas (Angelakis *et al.*, 2018). Mais adiante, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou suas primeiras diretrizes relacionadas ao reúso de água para irrigação em 1973, e somente em 2006 publicou suas diretrizes para o reúso de água na agricultura. Finalmente, em 2017, com base na metodologia *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA) a OMS estabeleceu um guia para produzir água potável a partir do reúso (OMS, 2017).

Outrossim, diante das experiências adquiridas, a evolução das tecnologias capazes de produzir água de melhor qualidade e o aumento da demanda para usos cada vez mais nobres, as regulações foram sofrendo atualizações no sentido de apresentarem padrões mais restritivos, especialmente para usos mais nobres como o

uso potável. A Figura 3 mostra a evolução regulatória do reúso de água (Santos; Lima, 2022).

Figura 3 - Evolução regulatória do reúso de água



Fonte: Adaptado de Santos e Lima, 2022.

No que se refere à legislação em nível nacional, o Brasil conta com duas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e uma resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A CNRH nº 54/2005 estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (BRASIL, 2005), enquanto a Resolução CNRH nº 121/2010 estabelece diretrizes e critérios específicos para a modalidade agrícola e florestal (BRASIL, 2010). Ambas estimulam a prática, porém não definem critérios de qualidade sanitária. Não obstante, a Resolução CONAMA nº 503/2021 (BRASIL, 2021) é bastante específica e define critérios e procedimentos para o reúso de água somente em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias (Santos *et al.*, 2025).

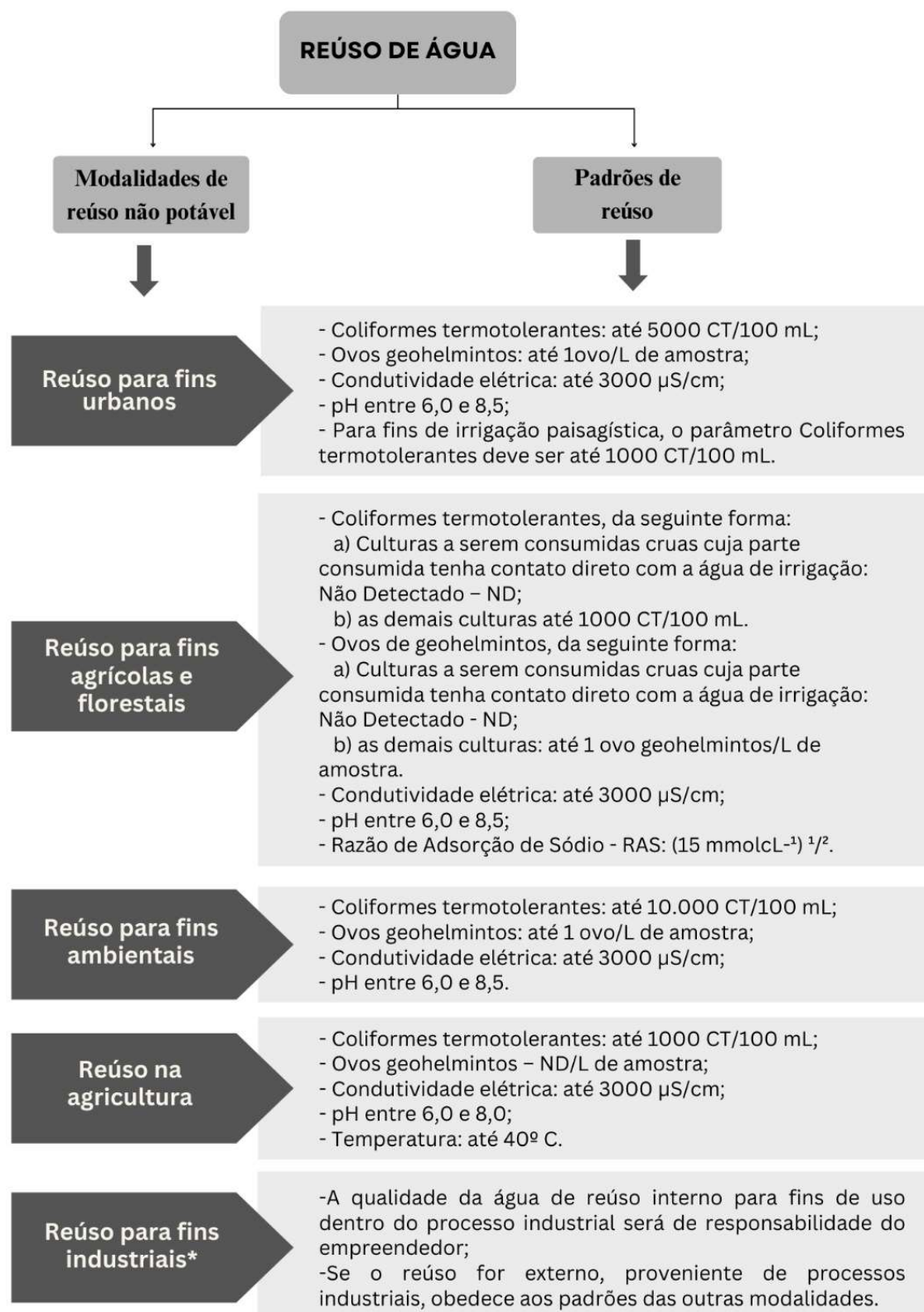
Ainda nesse âmbito, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 16.783/2019 com orientações diretas para reúso de água não potável em edificações, a partir das águas cinzas (ABNT, 2019). É possível citar ainda o novo

marco regulatório do saneamento básico, a Lei nº 14.026/2020, que altera a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2020; BRASIL, 2007). Isso porque essa nova lei protagoniza o reúso de água no contexto dos sistemas de esgotamento sanitário. Contudo, é importante frisar que, apesar dessas normativas, atualmente o Brasil ainda não apresenta um documento legal e/ou orientativo, que defina a qualidade sanitária para as diferentes modalidades de reúso de água (Santos *et al.*, 2025).

Diante das lacunas existentes no arcabouço legal federal, os entes estaduais trabalharam em normativas próprias, para suprir essa lacuna e disciplinar a matéria no âmbito de suas competências (Santos *et al.*, 2025). Nessa perspectiva, o estado do Ceará publicou a Lei nº 16.033/2016, que dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará e, através do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA), publicou também a resolução COEMA nº 02/2017, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (CEARÁ, 2016; CEARÁ, 2017).

A resolução COEMA nº 02/2017 define o reúso em três categorias: reúso direto, externo e interno. O reúso direto de água corresponde ao uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. Quanto ao reúso externo é o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por prestadores de serviços de saneamento básico ou terceiros, cujas características permitam sua utilização. Finalmente, o reúso interno contempla o uso interno de água de reúso proveniente de atividades realizadas no próprio empreendimento. Além disso, essa resolução também define as modalidades cabíveis de reúso de água e seus respectivos parâmetros de qualidade exigidos, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Modalidades e parâmetros de reúso Coema 02/2017



5.2 PATENTES E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

A patente pode ser definida como um direito exclusivo concedido pelo Estado relativo a uma invenção (ou modelo de utilidade), que atende ao requisito de novidade, envolve uma atividade inventiva (ou ato inventivo) e é suscetível de aplicação industrial (INPI, 2013).

O requisito da novidade é cumprido quando a invenção ou modelo de utilidade não estão compreendidos no estado da técnica, ou seja, são inéditos. Quanto à aplicação industrial ocorre quando podem ser utilizados ou produzidos em qualquer tipo de indústria. Por seu turno, a atividade inventiva é atendida por uma invenção sempre que, para um técnico no assunto, não decorra de maneira evidente ou óbvia do estado da técnica. De modo análogo, o ato inventivo existe no modelo de utilidade sempre que, para um técnico no assunto, não decorra de maneira comum ou vulgar do estado da técnica (BRASIL, 1996).

O direito assegurado pela patente concede ao seu titular a exclusividade da exploração de uma tecnologia, por um tempo, contado da data de depósito, limitado a vinte anos para a patente de invenção e a quinze anos para o modelo de utilidade, de forma que após a conclusão dos respectivos prazos a patente entra em domínio público (BRASIL, 1996).

Assim, como contrapartida pelo acesso do público ao conhecimento dos pontos essenciais do invento, a lei dá ao titular da patente um direito limitado no tempo, no pressuposto de que é socialmente mais produtiva em tais condições a troca da exclusividade de fato (a do segredo da tecnologia) pela exclusividade temporária de direito (Barbosa, 2003).

No que se refere à transferência de tecnologia para o mercado, a patente é um instrumento que aumenta a capacidade de um empresário em tirar proveito das suas invenções. Entretanto, salienta-se que para fornecer uma vantagem tangível a um empresário, uma patente tem de ser explorada eficazmente e, geralmente, dará dinheiro apenas se o processo ou produto baseado na patente tiver sucesso no mercado e melhorar a reputação da firma, bem como aumentar o seu poder de negociação (INPI, 2013).

Para que uma invenção patenteada tenha acesso ao mercado, o titular, seja pessoa física, seja pessoa jurídica, tem algumas opções: comercializar a invenção patenteada diretamente; vender (cessão) a patente a outra pessoa; conceder licenças

de patente a outras pessoas; celebrar uma parceria ou realizar uma aliança estratégica com outros empresários que tenham recursos complementares. Ainda nesse sentido, é importante frisar que existem três tipos de acordos de licença, conforme o número de licenciados autorizados a utilizar a patente (INPI, 2013):

- Licença exclusiva: somente o licenciado estará autorizado a explorar a tecnologia patenteada, sendo que essa exploração não pode ser utilizada sequer pelo titular da patente;
- Licença única: somente o licenciado e o titular da patente têm o direito de explorar a tecnologia patenteada. O sublicenciamento não é permitido;
- Licença não exclusiva: vários licenciados, incluindo o titular da patente, têm o direito de explorar a tecnologia patenteada.

As patentes atuam como um instrumento institucional que pode tanto facilitar quanto restringir a transferência de tecnologia entre universidades, institutos de pesquisa e empresas. Por um lado, a proteção via patentes cria clareza sobre direitos de exploração e permite contratos de licenciamento que viabilizam a comercialização de invenções acadêmicas; por outro lado, quando a proteção é usada de forma excessiva ou quando há fraca integração entre Núcleos de Inovação Tecnológica - NITs e mercado, as patentes acabam sendo pouco utilizadas como canal de transferência, permanecendo arquivadas sem licenciamentos proveitosos (Póvoa; Rapini, 2010; Viana, 2018).

A literatura empírica global mostra que o efeito das patentes sobre a difusão tecnológica é condicionado pelo contexto institucional: proteção de patentes mais forte tende a atrair investimento direto estrangeiro e certas formas de transferência para países de nível médio de desenvolvimento, mas nem sempre estimula transferência direta de conhecimento para firmas locais de pequena escala; em alguns casos, proteções excessivas reduzem a difusão por bloquear usos secundários do conhecimento (Hall, 2010). Assim, políticas de propriedade intelectual precisam ser pensadas conjuntamente com mecanismos de incentivo ao licenciamento, apoio a incubadoras e capacitação empresarial para absorção de tecnologia (Póvoa; Rapini, 2010; Viana, 2018).

No que tange às empresas, a transferência de tecnologia é tão prática quanto relacional: as firmas receptoras nem sempre obtêm tecnologia apenas por meio de patentes ou licenças formais — canais informais (consultorias, colaboração em P&D,

parcerias com spin-offs e mobilidade de pessoal) são centrais na incorporação do conhecimento tecnológico nas rotinas produtivas. A evidência clássica sobre custo de transferência mostra que a simples transmissão de especificações patenteadas não basta; o know-how tácito, o treinamento e a adaptação local representam custos e barreiras relevantes que influenciam como uma empresa transformará ou não uma patente em vantagem competitiva (Teece, 1977; Britto; Ribeiro; Albuquerque, 2021).

Para o contexto brasileiro, pesquisas empíricas mostram que embora várias universidades tenham aumentado o depósito de patentes e a criação de NITs, o licenciamento e a conversão em produtos no mercado ainda são incipientes; fatores apontados incluem déficit de cultura de licenciamento, falta de interlocução entre pesquisadores e empreendedores e limitações na capacidade absorptiva das empresas nacionais. Assim, a forma de transferência de tecnologia adotada dependerá das estratégias, prioridades, perfis e interesses, tanto dos detentores dos ativos de propriedade intelectual, quanto dos atores do eixo mercadológico. Isso demanda políticas de apoio que combinem proteção intelectual com ações de capacitação empresarial e facilitação de contratos de transferência (Póvoa; Rapini, 2010; Viana, 2018; Berisha; Pula, 2015).

5.3 EMPRESAS

5.3.1 Conceito

A empresa desempenha um papel fundamental nas economias modernas, sendo caracterizada como uma atividade econômica organizada, voltada para a produção ou circulação de bens e serviços. Dessa forma, a empresa vai além de um simples estabelecimento comercial ou uma entidade física. Ela contempla um conjunto de fatores produtivos organizados de maneira eficiente, coordenados de modo a gerar lucro e atender as necessidades do mercado (Carris, 2024).

É importante salientar ainda que uma questão fundamental na literatura é a terminologia utilizada para a categoria de empresas que não se enquadram no âmbito das grandes corporações. Alguns as denominam pequenas empresas, enquanto outros utilizam o conceito de pequenas e médias empresas, enquanto outros ainda as chamam de micro, pequenas e médias empresas (Berisha; Pula, 2015).

Ademais, as diferenças na definição dessas empresas se estendem por três frentes: definições de instituições internacionais, definições de leis nacionais e definições setoriais. Encontrar um padrão universal representa um desafio crítico para institucionalistas, economistas, acadêmicos e industriais. Embora seja um dilema, menos relevante é a distinção entre "empresa" e "negócio", conquanto os autores costumem usar os termos de forma intercambiável (Berisha; Pula, 2015).

No que se refere ao porte de uma empresa, é fundamentado em parâmetros como número de funcionários e faturamento, de forma que os portes principais são (Richardson, 2025):

- Microempreendedor Individual (MEI).
- Microempresa (ME).
- Empresa de Pequeno Porte (EPP).
- Média empresa.
- Grande empresa.

Em relação ao número de funcionários, conforme dispõe o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as empresas dividem-se em: micro quando possui até nove (comércio e serviços) ou até 19 (indústria); pequena se possui entre dez e 49 (comércio e serviços) ou de 20 a 99 colaboradores (indústria); média quando possui entre 50 e 99 (comércio e serviços) ou de cem a 499 (indústria) e grande caso tenham mais de cem (comércio e serviços) ou mais de 500 (indústria) (IBGE, 2025).

Além disso, em relação ao faturamento anual, a classificação mais aceita é da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019), conforme exposto a seguir:

- Grupo I - Empresa de Grande Porte: superior a R\$50 milhões.
- Grupo II - Empresa de Grande Porte: igual ou inferior a R\$50 milhões e superior a R\$20 milhões.
- Grupo III – Empresa de Médio Porte: igual ou inferior a R\$20 milhões e superior a R\$6 milhões.
- Empresa de Pequeno Porte (EPP): igual ou inferior a R\$4,8 milhões e superior a R\$360 mil.
- Microempresa: igual ou inferior a R\$360 mil.

É importante frisar que a relação entre as pequenas e médias empresas e o crescimento da economia evidencia a necessidade de analisar mais a fundo essa relação. Devido à sua importância para a economia em geral, é fundamental compreender como o crescimento das pequenas e médias empresas é fomentado e

como pode ser impulsionado (Garcia-Martinez *et al.*, 2023). Contudo, os outros portes empresariais não devem ser preteridos, visto que são importantes e complementares na conjuntura econômica.

5.3.2 Empresas e sustentabilidade hídrica

No âmbito das empresas e indústrias, o reúso de água compreende a implementação de processos que permitem a reutilização de efluentes tratados — para fins não potáveis como sistemas de resfriamento, lavagem, processos industriais e irrigação técnica — para reduzir o consumo de água virgem e os custos operacionais de longos prazos (Angelakis *et al.*, 2018). Diretrizes técnicas, como o documento de referência da agência de proteção ambiental (EPA, do inglês *environmental protection agency*) sobre reúso, e revisões científicas recentes oferecem bases para avaliação de qualidade, riscos sanitários e requisitos de tratamento necessários para diferentes aplicações industriais (EPA, 2012). Além dos benefícios ambientais e de segurança hídrica, são evidentes os ganhos em eficiência operacional quando o reúso é integrado ao desenho dos processos industriais (Fico *et al.*, 2022; Safarpour *et al.*, 2025).

No contexto brasileiro, iniciativas e manuais técnicos têm tratado o reúso com ênfase nas particularidades locais — disponibilidade hídrica regional, regimes regulatórios e tipologia industrial. Publicações de órgãos nacionais e manuais setoriais (ex.: manuais da ANA e materiais de apoio para agroindústria e setores específicos) apontam procedimentos de caracterização de efluentes, vias tecnológicas de tratamento e recomendações para aplicação segura do reúso, enfatizando a necessidade de adaptação às realidades regionais e aos arranjos institucionais brasileiros (ANA, 2009; 2019). Esses documentos servem como referência prática para empresas e gestores que buscam implantar sistemas de reúso no país (SEBRAE, 2015).

Apesar das vantagens, a adoção do reúso em empresas e indústrias enfrenta barreiras notáveis: os custos iniciais de implantação de unidades de tratamento avançado, requisitos de monitoramento contínuo, a necessidade de capacitação técnica e incertezas regulatórias podem desincentivar investimentos, sobretudo em pequenas e médias empresas. Revisões críticas recentes também apontam desafios relacionados à presença de contaminantes emergentes, subprodutos do tratamento e

à garantia de qualidade em usos sensíveis, fatores que elevam custos operacionais e reforçam a necessidade de avaliação econômica robusta antes da implementação. Assim, a tomada de decisão empresarial tende a ponderar os benefícios ambientais e de redução de captação contra o investimento e despesas associadas à tecnologia e gestão (Klan et al, 2024).

Outro aspecto indiscutível é que superar as barreiras econômicas e técnicas exige políticas públicas claras (incentivos, normas e suporte técnico), avaliação de custo-benefício adaptada ao contexto setorial e mecanismos de compartilhamento de risco e conhecimento entre poder público, empresas e centros de pesquisa (EPA, 2012). Programas de estímulo, estudos de caso bem documentados e normas técnicas aplicáveis ao país podem reduzir a incerteza e acelerar a difusão de práticas de reúso nas indústrias, contribuindo para uma gestão hídrica mais resiliente e sustentável. Investimentos em inovação tecnológica e arranjos institucionais adequados são, portanto, caminhos recomendados para ampliar a adoção do reúso industrial (Fico *et al.*, 2022; Safarpour *et al.*, 2025).

Apesar das dificuldades existentes, existem casos de sucesso de reúso de água no Ceará, inclusive com grande impacto socioeconômico e ambiental a nível local e estadual. No Complexo do Pecém (Ceará) existem dois sistemas funcionando: um que abastece o Porto do Pecém, e o outro a Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE Ceará, localizada à 6 km do porto cearense. Os dois juntos proporcionam uma economia de até 856 mil litros de água por mês. Por dia, cerca de 30 mil litros de água são tratados e utilizados nos vasos sanitários do prédio de Bloco de Utilidades e Serviços e nas oficinas da empresa (ZPE/CE, 2020).

Outro caso de reúso é no Hub do Hidrogênio Verde do Ceará, que está sendo desenvolvido no Complexo Industrial Portuário do Pecém e utilizará água de reúso proveniente dos esgotos tratados das cidades de Fortaleza, Caucaia e Maracanaú. O abastecimento será feito pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) em parceria com a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) e o funcionamento do sistema conta também com a colaboração de empresas privadas (Casarim, 2022).

Adicionalmente, outro exemplo acontece no município de Quixeramobim no Ceará, onde estão em construção sistemas de reúso de água e fossa ecológica para a zona rural, com investimento total de R\$ 3.068.815,81. Esse projeto contempla a

construção de sistemas integrados de reúso de águas domiciliares (provenientes de banho, pias e lavanderia) e fossas ecológicas (que tratam efluentes de vasos sanitários), para promover o tratamento e reaproveitamento da água (DAS/CE, 2025).

6 METODOLOGIA

6.1 TECNOLOGIAS ATUAIS E EMERGENTES BASEADAS EM ARTIGOS

No que se refere a identificação e compreensão das tecnologias de reúso de água mais recentes e potencialmente emergentes, foi efetuada uma revisão sistemática da literatura de artigos científicos disponíveis nas bases do portal de periódicos da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). O intuito foi encontrar artigos científicos e de revisão que abordassem como conteúdo principal o reúso de água ou reúso de águas residuárias.

Para isso, foram feitas buscas avançadas por assunto entre março e julho de 2025, utilizando palavras-chaves em inglês e português associadas ao operador booleano “OR”, através de duas combinações: ("water reuse" OR "reuse of treated wastewater") e ("reúso de água" OR "reúso de água residual" OR “reúso de esgoto” OR “reúso de água residuária”). Como critérios de busca, as combinações deveriam estar contidas em apenas no título do respectivo documento, o período delimitado foi do ano de 2025 para a combinação em inglês e entre 2023 e 2025 para a combinação em português.

Além disso, os materiais selecionados restringiram-se a artigos e artigos de revisão, com acesso aberto e revisados por pares. Complementarmente, foi realizada uma leitura do título e resumo, excluindo as eventuais duplicidades e fugas ao tema, validando os materiais elencados.

6.2 TECNOLOGIAS DE REÚSO DE ÁGUA PATENTEADAS

Na perspectiva de compreender o comportamento e a situação dos depósitos de patentes sobre reúso de água, foram feitas pesquisas e análises de patentes sobre reúso de água com o auxílio do *software Orbit Intelligence* (Questel, 2025). O objetivo foi analisar a evolução e a situação das patentes no cenário mundial, inclusive entendendo a participação do Brasil no contexto mundial. Além disso, buscou-se entender de forma mais específica o panorama dessas patentes depositadas no Brasil nos últimos 20 anos.

Para garantir precisão e segurança nos dados, as pesquisas foram feitas no banco de dados das famílias de patentes, “Fampat”, que agrupa todas as publicações de patentes de uma única invenção. Essas famílias são dinâmicas, uma vez que sua composição muda conforme novas informações são recebidas. É importante frisar ainda que cada patente é única no banco de dados da “Fampat”, de forma que nenhum número de patente pode aparecer em duas famílias distintas (Questel, 2020).

Realizaram-se buscas avançadas no campo de consulta (*query*, do inglês) entre agosto e outubro de 2025, utilizando palavras-chaves em inglês associadas ao operador booleano “OR”, através da combinação: ((SEWAGE?? REUSE??) OR (TREATED WASTEWATER?? REUSE??) OR (WASTEWATER?? REUSE??) OR (WATER?? REUSE??) OR (SEWAGE?? RECYCLING??) OR (TREATED WASTEWATER?? RECYCLING??) OR (WASTEWATER?? RECYCLING??) OR (WATER?? RECYCLING??)) /BI. Por oportuno, foi utilizado na sequência de cada palavra a simbologia “??”, que habilita os resultados com até dois caracteres após cada uma das palavras, tornando a pesquisa mais ampla e assertiva.

Ademais, foi utilizado o comando de índice básico “/BI” (*basic index*, do inglês) como critério de busca, determinando que os pares de palavras da combinação deveriam estar contidos no título (*title*, do inglês) e no resumo (*abstract*, do inglês) do documento. Com o avanço da pesquisa, para melhor compreensão e eficiência dos resultados, foram utilizados filtros como: OPPI, CIDI=YES, STATE/ACT=GARANTED, EAPD, EPRD, BR/PN, BR/EPNC, BR/EPRC e BR/PR, sempre combinados com as consultas anteriores através do operador booleano “AND”.

O Quadro 1 sistematiza cada termo de busca e sua respectiva função de filtragem.

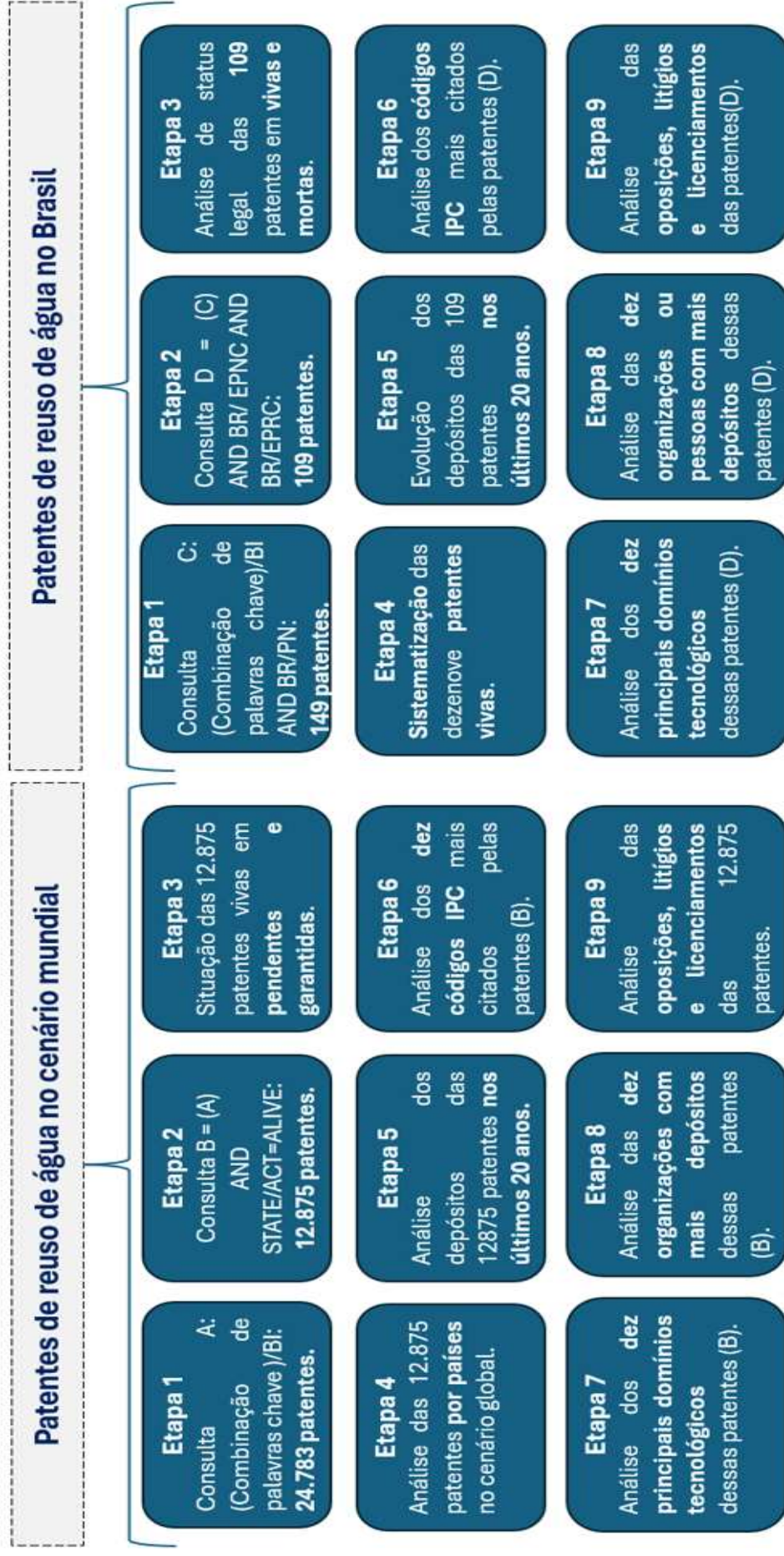
Quadro 1 - Termo de busca estratégicos

COMANDOS ESTRATÉGICOS PARA A BUSCA		
TERMO	SIGNIFICADO	DESCRIÇÃO
BI	Índice básico	Os termos da busca devem constar no título e no resumo da patente.
OPPI	Casos de oposição	Retorna quais patentes tiveram casos de oposição por terceiros.
CIDI	Casos de litígio	Retorna quais patentes tiveram casos de litígios.
STATE/ACT	Estado	Classifica as patentes conforme o estado.
STATUS/ACT	Status	Classifica as patentes conforme o status.
EAPD	Data de aplicação mais antiga	Seleciona as patentes segundo a data de aplicação mais antiga no país.
EPRD	Data de prioridade mais antiga	Seleciona as patentes segundo a data de prioridade mais antiga em dado país.
EPNC	País de primeira publicação	Seleciona as patentes que foram publicadas primeiramente em determinado país.
PN	Todas da publicações no país	Seleciona as patentes que foram publicadas em determinado país.
PR	Todas as prioridades no país	Separar as patentes que tiveram prioridade em dado país.

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

A Figura 5 demonstra o fluxograma das etapas da pesquisa, de acordo os termos de busca utilizados estrategicamente nas linhas de comando conforme a natureza das informações buscadas. É importante ressaltar ainda que tanto no cenário mundial quanto no Brasil o escopo adotado para sequência das etapas foi o da segunda etapa, que contempla os últimos vinte anos.

Figura 5 - Fluxograma de etapas da pesquisa patentária



Fonte: Autoria própria, 2025.

6.3 MATRIZ EMPRESARIAL RELACIONADA AO REÚSO DE ÁGUA

No que se refere à obtenção dos dados no âmbito empresarial, foi realizada uma busca estratégica de informações sobre as empresas legalmente registradas que atuam com atividades relacionadas ao reúso de água no Brasil e no Ceará, considerando a base de dados empresariais do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), a DataSebrae Painéis, em sua versão mais atual, durante os meses de setembro e novembro de 2025.

A escolha dessa base se justifica por ser uma das principais e mais completas base de dados empresariais do Brasil, de acesso gratuito, cujas informações são confiáveis e atuais, uma vez que são obtidas da Receita Federal do Brasil (RCF) e do IBGE.

Não obstante, o objetivo da pesquisa foi coletar e analisar as informações sobre esse escopo de empresas, mapeando-as de acordo com a localização, porte, setor e subárea de atuação. Para tanto, o procedimento foi dividido em duas etapas conexas:

Etapa 1: corresponde ao estudo da Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE), do IBGE, em sua versão mais atual. Após o estudo, procedeu-se com a seleção das atividades econômicas relacionadas ao setor de reúso de água, que delimitam o escopo de prospecção das informações na matriz empresarial.

Etapa 2: após o cumprimento da primeira etapa, os códigos CNAE selecionados foram utilizados como filtros na DataSebrae Painéis (SEBRAE, 2025), visando a consecução de resultados fidedignos sobre a matriz empresarial com atuação relacionada ao reúso de água no país.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 TECNOLOGIAS ATUAIS E EMERGENTES BASEADAS EM ARTIGOS

As pesquisas através das combinações de palavras-chave no portal de periódicos da CAPES, respeitando os critérios metodológicos descritos, resultaram em um total inicial de trinta e três publicações, sendo vinte e seis internacionais e sete publicações nacionais.

O estudo das produções permitiu constatar que cinco eixos temáticos principais foram abordados: o reúso de água para fins agrícolas; o reúso de água para fins industriais; o reúso em edificações e usos urbanos; o reúso de água para fins potáveis e outras aplicações inovadoras, que contemplam uma ou mais modalidades de reúso. A Figura 6 ilustra a distribuição dos artigos por categoria de reúso.

Figura 6 - Distribuição dos artigos por categoria de reúso



Fonte: Autoria própria, 2025.

O Quadro 2 mostra a sistematização das publicações selecionadas de acordo com as tecnologias e abordagens dentro desses cinco eixos temáticos.

Quadro 2 - Sistematização dos artigos por eixos temáticos

Categoria	Título	Autores	Tecnologia / Abordagem	Resultados
Reúso agrícola	Tratamento e reúso de água para fins agrícolas em comunidade rural localizada no sertão Paraibano.	FIRMINO, L. DE. Q. <i>et al.</i> , 2023.	Reúso de águas cinzas na agricultura, através de um sistema com decantador, filtro multicamadas e reservatório para irrigação.	Após o tratamento, uso seguro para as culturas menos restritivas, como mamona, algodão, girassol e culturas arbóreas, inclusive frutíferas.
Reúso agrícola	Aula de campo na educação geográfica no semiárido brasileiro: estudo do reúso de água na irrigação da acerola.	MEDEIRO, OS, 2023.	Irrigação de plantas de acerola através com rejeitos de dessalinizadores oriundos do tratamento por osmose reversa.	As plantas apresentaram crescimento adequado, ausência de anormalidades e produtividade satisfatória.
Reúso agrícola	Irrigação com reúso de água cinza em sistemas agroecológicos: uma revisão da literatura.	BRITO, I. A DE. <i>et al.</i> , 2025.	Sistema de Bioágua Familiar (SBF), filtro biológico avançado e irrigação por gotejamento.	Sistema de reúso como alternativa para autonomia dos agricultores em relação aos recursos hídricos. Existência de barreira cultural à aceitação.
Reúso agrícola	<i>Reuse of Treated Wastewater to Address Water Scarcity in Viticulture: A Comprehensive Review.</i>	COSTA, C. S. <i>et al.</i> , 2025.	Reúso de águas residuárias tratadas em vinícolas.	O uso de águas residuais tratadas para irrigação na viticultura oferece uma solução viável para mitigar a escassez de água.
Reúso agrícola	<i>Diagnosis and Assessment of a Combined Oxylag and High Rate</i>	KEFFAL, A, C. <i>et al.</i> , 2025.	Sistemas de tratamento em série combinado de tanque aerada - Oxylag e tanque com algas de alta taxa (COHRAP, do inglês	Sistema obteve resultados satisfatórios mostrando-se como uma alternativa sustentável, que atende aos padrões

	<i>Algal Pond (COHRAP) for Sustainable Water Reuse: Case Study of the University Campus in Tunisia.</i>		Combination of Oxilag with a High Rate Algal Pond) para reúso de água na irrigação.	da Tunísia nacionais e europeus.
Reúso agrícola	<i>Resource recovery from wastewater treatment: Effects of water reuse and slow-release fertilizers on faba bean within Palermo University (Italy) case study.</i>	PALIAG A, S. et al., 2025.	Sistema de reúso de água baseado no aproveitamento dos efluentes tratados na estação de tratamento de águas residuárias para irrigação e fertilização de culturas.	A tecnologia obteve êxito na cultura do feijão-fava, com correção estratégica utilizando o biocarvão e a zeólita. As análises indicaram segurança do ponto de vista microbiológico.
Reúso agrícola	<i>Detoxification of tequila vinasse by Trametes sanguineus: a biotechnological approach to laccase production and water reuse in seedling growth.</i>	TEYMEN NET-RAMÍRE Z, K. V. et al., 2025.	Tecnologia para biorremediação da vinhaça de tequila utilizando o fungo ligninolítico <i>Trametes Sanguineus</i> e reúso em culturas de alface e tomate.	Resultados positivos com redução de cor, fenóis e DQO em vinhaça. Reúso da água usando a vinhaça na concentração 50% desintoxicada obteve Germinação superior a 60% em alface e tomate.
Reúso agrícola	<i>Challenges and prospects of reclaimed water reuse in Spanish agriculture.</i>	RANERA , C. V. et al., 2025.	Levantamento dos obstáculos à adoção generalizada das práticas de reúso agrícola na Espanha e proposição de soluções aos entraves.	Colaboração entre órgãos, entidades de gestão de recursos hídricos e demais <i>stakeholders</i> para desenvolver e implementar estratégias e políticas eficientes recuperação e a reutilização da água.

Reúso agrícola	<i>An innovative risk assessment framework for water reuse: The case study of Corleone (Italy).</i>	CARNES I, M. et al., 2025.	Metodologia inovadora para avaliação do risco ambiental e de saúde do reúso de água, conectando a gravidade do risco com a qualidade da água.	Resultados promissores em relação ao reúso agrícola, diante do baixo risco constatado.
Reúso Agrícola	<i>Comparison of statistical evaluation approaches for log-removal validation according to European water reuse regulations.</i>	SEIS, W. et al., 2025.	Validação e monitoramento de remoção de patógenos.	Necessidade de comprovação contínua de desempenho, respeitando os parâmetros definidos nas normativas de cada local.
Reúso Agrícola	<i>Safe Reuse of Treated Wastewater: Accumulation of Contaminants of Emerging Concern in Field-Grown Vegetables under Different Irrigation Schemes.</i>	SHI, Q. et al., 2025.	Tecnologias para mitigação dos riscos das substâncias químicas de preocupação emergente em relação à reutilização de águas residuais tratadas para a irrigação.	Modificações na irrigação para redução da contaminação dos alimentos, contribuindo para o reúso seguro de águas não convencionais.
Reúso Agrícola	<i>Reuse of Pretreated Household Wastewater for Decentralized Food Production.</i>	VAVRA, L. et al., 2025.	Uso de águas residuais domésticas pré tratadas para a produção de alimentos em um sistema hidropônico.	Sistema de reúso validado na produção descentralizada de alimentos.
Reúso industrial	Reúso de água em destiladores pilsen: uma prática sustentável.	FERREIRA, W.; FURTADO, A. C., 2024.	Determinação da vazão ótima de funcionamento de sistemas de destiladores pilsen.	A tecnologia traz uma economia significativa em volume, com vida útil da água reutilizada de 36 dias. A viabilidade econômica do sistema foi comprovada.

Reúso industrial	<i>Designing a High-Performance Oil–Water Filtration System: Surface-Enhanced Quartz with Hydrophilic Nanoparticles for Sustainable Water Reuse and Global Water Scarcity Solutions.</i>	RAMAN AMAMA NE, N; Pita, M., 2025.	O potencial de sistemas de filtração à base de quartzo, aprimorados com nanopartículas hidrofílicas para separação eficiente de óleo e água.	Quartzo projetado para superfícies como uma solução escalável e econômica para reutilização sustentável de água.
Reúso em edificações e uso urbano	Potencial do aproveitamento de água de chuva e do reúso de água cinza em edificações de escritórios em Brasília-DF.	SANT’ANA, D. R. <i>et al.</i> , 2023.	Sistemas integrados de reúso de água cinza e de água das chuvas em prédios comerciais.	A utilização do sistema com essas tecnologias combinadas é capaz de gerar economia média de 851 m ³ /ano por edificação.
Reúso em edificações e uso urbano	<i>High Rate Stormwater Treatment for Water Reuse and Conservation - Review.</i>	VIGNES WARAN, S. <i>et al.</i> , 2025.	Infraestrutura verde para águas pluviais, combinações de sistemas de tratamento para reúso com boa relação custo-benefício.	Tecnologias de meios filtrantes e processos de filtração mostraram-se exitosas para o reúso das águas pluviais urbanas.
Reúso em edificações e uso urbano	<i>Efficient phytoremediation of first-flush storm water using an innovative constructed wetland: a pilot-scale study towards sustainable water reuse.</i>	TAMMO NE, C. <i>et al.</i> , 2025.	Solução inovadora baseada na natureza, usando um <i>Wetland</i> construído de fluxo híbrido, para atender aos padrões de qualidade para águas residuais reutilizáveis.	Redução da contaminação bacteriana e atendimento aos padrões de reúso.

Reúso em edificações e uso urbano	Estudo de caso sobre a avaliação do potencial qualitativo do reúso de água residuária na ETE - rio Pará de Divinópolis-MG.	SOARES, F. A. <i>et al.</i> , 2025.	Verificação de conformidade de águas residuárias tratadas em ETE para reúso urbano.	Padrões de lançamento atendidos para DBO e DQO; necessidade de tratamento terciário para controle de coliformes termotolerantes e reúso seguro da água.
Reúso em edificações e uso urbano	<i>Water Reuse: Contribution of a Decision Support Model.</i>	COSTA FILHO, E. H. <i>et al.</i> , 2025.	Modelo de apoio à decisão para projetos de reúso de água, identificando indicadores e parâmetros relevantes	Índice de viabilidade de reúso urbano para subsidiar aplicações. Caso da cidade de Aquiraz, no Ceará teve viabilidade muito alta (índice de 82%).
Reúso potável	<i>Review of quantitative microbial risk assessments for potable water reuse.</i>	CLEMEN TS, E. <i>et al.</i> , 2025.	Avaliações quantitativas de risco microbiano (QMRA, do inglês <i>quantitative microbial risk assessments</i>) sobre reúso potável de água.	QMRA deve considerar os impactos que suposições críticas, como frequência de ingestão, concentrações de patógenos, processos de tratamento da unidade e falhas de tratamento, têm sobre o risco.
Reúso potável	<i>Water Reuse - Retrospective Study on Sustainable Future Prospects.</i>	ABBASZ ADEGA N, M <i>et al.</i> , 2025.	Tecnologias para reúso potável direto com ênfase nos patógenos virais e compostos perfluorados Microfiltração, ultrafiltração, osmose reversa e UV/AOP.	Técnicas de tratamento avançadas, como ultrafiltração e osmose reversa. Sensoriamento para monitoramento estratégico da qualidade em vários estágios do tratamento e consumo.
Reúso potável	<i>Diversity and functional capabilities of the microbial metagenome in a potable water reuse system.</i>	WONG, A. C. C. <i>et al.</i> , 2025.	Uso do sequenciamento <i>shotgun</i> para caracterizar a diversidade filogenética e funcional em cada ponto dentro de um sistema de tratamento de reúso potável.	Mudanças significativas na diversidade filogenética e funcional em cada ponto do sistema de tratamento.

Reúso potável	<i>Risk characterization of chemicals of emerging concern in real-life water reuse applications.</i>	SPECKE R, J. C. <i>et al.</i> , 2025.	Reúso de água, substâncias químicas de interesse emergente e risco à saúde humana e ao meio ambiente.	Para o reúso agrícola os riscos estão em nível aceitável. Para o reúso potável, a avaliação de riscos ainda é limitada, necessitando de complementação.
Reúso potável	<i>Direct water reuse: a hydraulic economic analysis of connecting the wastewater treatment effluent to water treatment influent.</i>	BARKDOLL. B.; STRUTZ. A. G., 2025.	Reúso direto através da conexão entre o efluente da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de uma cidade e o afluente da estação de tratamento de águas residuais (ETA) via tubulação foi simulada para fornecer uma compreensão dos custos de capital e da viabilidade de execução.	A análise de dados mostrou que a viabilidade financeira depende dos requisitos de tamanho da bomba.
Outras aplicações inovadoras	<i>New Mexico as a testbed for safe beneficial produced water reuse.</i>	CULL-HOST ET AL., 2025.	Tratamento e aproveitamento de água produzida através do reúso, inclusive para recuperação de petróleo e extração mineral.	Reúso benéfico da água com potencial em hidrogênio, extração mineral e armazenamento energético.
Outras aplicações inovadoras	<i>Wastewater Remediation Treatments Aimed at Water Reuse: Recent Outcomes from Pilot- and Full-Scale Tests.</i>	FERRI, E. N; BOLELLI, L., 2025.	Foco em procedimentos híbridos e multietapas para obter água de alta qualidade e incentivar sistemas descentralizados e domésticos para evitar perdas de água e/ou criar fontes de água.	Soluções descentralizadas, com procedimentos híbridos e multietapas de remediação, parecem ser muito promissoras no âmbito da economia circular.
Outras aplicações inovadoras	<i>Ultrafiltration membrane modelling: Comparing two mathematical</i>	MANNIN A, G. <i>et al.</i> , 2025.	Modelagem mecânica comercial e personalizada de membranas de Ultrafiltração (UF).	Modelo personalizado confiável para ultrafiltração, através da predição de incrustações

	<i>models by sensitivity and uncertainty analysis for Palermo and Corleone (Italy) water reuse case studies.</i>			e otimização de desempenho.
Outras aplicações inovadoras	<i>Combined membrane aeration and filtration for energy- and space-efficient COD removal in water reuse</i>	TIMMER, M. J. et al., 2025.	Novo biorreator de membranas aeradas por bolhas, com redução do consumo de energia.	Reúso não potável com eficiência de recursos.
Outras aplicações inovadoras	Otimização da retrolavagem dos filtros de areia utilizados para reúso de água como estratégia para a gestão hídrica.	TRECOS SI, L. V. P. et al., 2025.	Uso da Filtração Direta Descendente (FDD) para a produção de água de reúso, relacionado a etapa de retrolavagem do leito granular.	A granulometria e a altura do leito influenciam no volume de água utilizado na lavagem, sendo as partículas de grãos menores, com menor altura de leito, 0,93 mm e 10 cm, respectivamente, consumiram menor volume.
Outras aplicações inovadoras	<i>Optimizing Reservoirs to Provide Water in Times of Crisis, With Emphasis on the Reuse of Treated Wastewater in Different Uses.</i>	SHAMS AEIFAR, M, R. et al., 2025.	Reservatórios de água não potável, utilizando águas residuais tratadas, associados à energia solar, para a irrigação e combate a incêndio.	Estratégias de Gestão Hídrica eficazes, incluindo sistemas de energia solar e reúso de águas residuais tratadas.
Outras aplicações inovadoras	<i>Feature of water: A practical concept in water reuse.</i>	CHEN, X.W et al., 2025.	Sistema de avaliação multidimensional que abrange quatro indicadores primários:	Maior precisão na escolha de tecnologias, com redução de custos

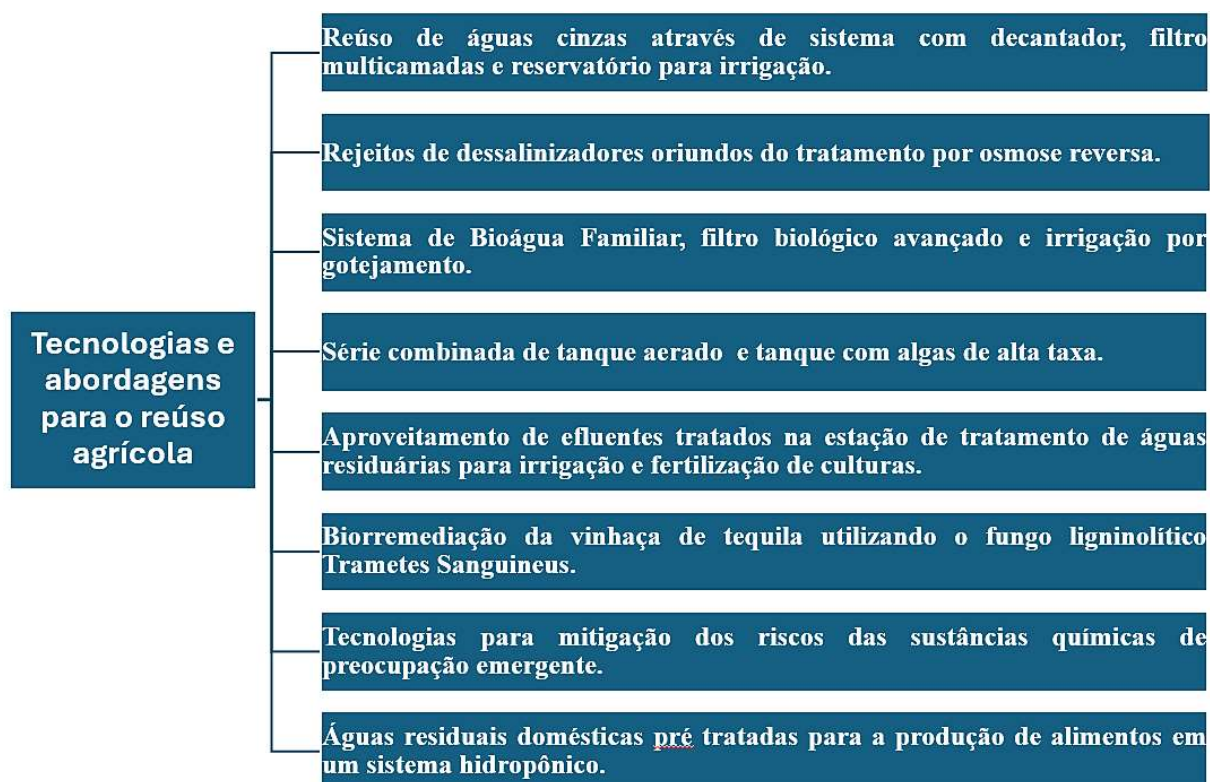
			concentração quantitativa, características composicionais, potencial de transformação e efeitos toxicológicos.	operacionais e mitigação de riscos ecológicos.
Outras aplicações inovadoras	<i>Institutional challenges in water reuse and circularity: insights from co-creation processes in Southern Europe and Middle East.</i>	MATOS, M, V. et al., 2025.	Projeta e aplica um processo de cocriação para analisar a percepção das principais partes interessadas sobre os desafios institucionais para o reúso da água e explorar suas contribuições para inovar políticas, planejamento e governança para o setor.	A implementação de um novo circuito de água encontra obstáculos institucionais e produtivos complexos, que diferentes partes interessadas abordam de maneiras variadas.
Outras aplicações inovadoras	<i>Sustainable water reuse for water security.</i>	TORTAJADA, C. et al 2025.	Reúso, segurança hídrica, recuperação de nutrientes e sustentabilidade.	Reúso de água cria oportunidades econômicas através de inovações em tecnologias de reciclagem e infraestrutura verde, respeitando as estruturas políticas, legais e regulatórias.

Fonte: Autoria própria (2025).

7.1.1 Reúso Agrícola

Nesta categoria, os estudos analisados convergiram ao evidenciar tendências tecnológicas, requisitos de qualidade e barreiras à adoção do reúso de água na agricultura, abrangendo desde a irrigação de culturas alimentares até a recuperação de nutrientes para uso em sistemas produtivos. Os trabalhos trouxeram tecnologias e abordagens inovadoras, conforme indicadas na Figura 7.

Figura 7 - Reúso agrícola: tecnologias e abordagens

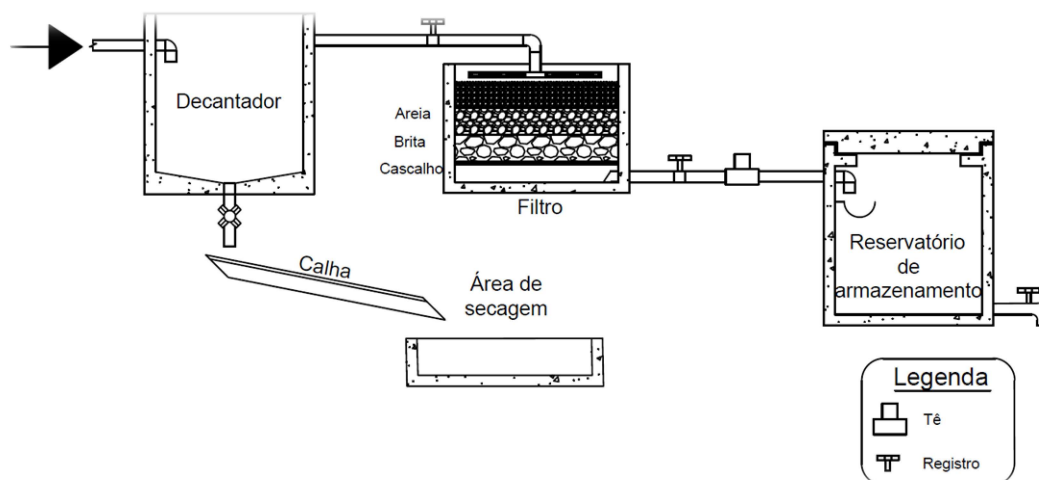


Fonte: Autoria própria, 2025.

Foi possível constatar um crescimento nas pesquisas relacionadas ao reúso da água produzida ao longo do tempo, especialmente relacionadas ao clima semiárido. Tal situação, sinaliza a necessidade desses locais de encontrarem alternativas de fonte de água, destinadas principalmente à irrigação, devido aos baixos índices pluviométricos associados à escassez hídrica (Brito *et al.*, 2025).

Firmino *et al.* (2023) propuseram um sistema compacto de reúso de águas cinzas para irrigação de culturas arbóreas frutíferas, cujo tratamento é composto por três unidades: um decantador retangular, um filtro com três camadas (areia, brita e cascalho) e reservatório com possibilidade de cloração, garantindo a remoção de sólidos e microrganismos, além do armazenamento seguro. A Figura 8 descreve o sistema de tratamento de águas cinza proposto.

Figura 8 - Sistema de tratamento de águas cinzas



Fonte: Firmino *et al.*, 2023.

A primeira unidade submete as águas cinzas, com sólidos e matéria orgânica, à ação da gravidade para remoção de particulados mais pesados. Destaca-se que o decantador retangular deverá possuir fundo inclinado formando uma calha destinada ao acúmulo dos resíduos decantados, facilitando assim o descarte destes durante a limpeza da unidade (Firmino *et al.*, 2023).

Na segunda unidade (filtro) serão removidos os sólidos não decantáveis remanescentes, juntamente com alguns microrganismos (Lien *et al.*, 2010). Quanto às disposições construtivas, conforme a NBR 13.969:1997, o filtro será composto de três camadas contendo os seguintes materiais: areia grossa, brita e cascalho; de 20 cm cada uma e na parte superior (da cobertura até a primeira camada) uma folga de 20 cm. A camada de cascalho encontra-se disposta sobre uma placa de concreto com furos bem distribuídos, formando uma espécie de fundo falso que guarda uma distância de 20 cm do piso do filtro. Essa distância irá proporcionar o escoamento livre da água filtrada a ser direcionada para a tubulação onde será introduzido o cloro (Firmino *et al.*, 2023).

No que se refere à terceira unidade - reservatório, Firmino *et al.* (2023) propõem, logo na entrada, um degrau para promover a mistura rápida do cloro que foi introduzido na tubulação entre o filtro e esta última unidade, caso esta opção seja adotada. Finalmente, serão inativados os microrganismos remanescentes e ficará armazenada a água pronta para reúso na agricultura.

O sistema foi projetado para irrigação por aspersão - Figura 9 de culturas menos restritivas, como mamona, algodão e árvores frutíferas, evitando contato direto da água com os frutos, atendendo, assim, critérios sanitários e agrônômicos. Ainda

assim, é recomendada a realização de análise da qualidade da água de reúso, para fins de monitoramento e segurança (Firmino *et al.*, 2023).

Figura 9 - Irrigação por aspersão no cultivo de hortaliças



Fonte: Firmino *et al.*, 2023.

No trabalho desenvolvido por Medeiros (2023), por sua vez, foi avaliada a possibilidade de uso de rejeitos de dessalinizadores, oriundos do tratamento por osmose reversa, na irrigação de árvores frutíferas de acerolas. O estudo foi conduzido em um sistema agroflorestal urbano, mais especificamente em uma escola estadual localizada no Rio Grande do Norte, região semiárida, e pôde-se observar um crescimento adequado, ausência de anormalidades e produtividade satisfatória das mudas irrigadas, atestando a viabilidade de integrar água de reúso em arranjos sustentáveis de produção agrícola.

Os estudos realizados por Brito *et al.* (2025) abordaram tecnologias relevantes para o reúso de água na agricultura, como o Sistema de Bioágua Familiar (SBF) com Filtro Biológico (FB) e um sistema com FB avançado. As características básicas de aplicação para essas tecnologias são: uso de água cinza, podendo estar associado a outros sistemas de coletas de águas de chuva, como o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR); agricultura de base familiar, com foco nas práticas agroecológicas, com a produção de hortaliças, frutas, raízes, tubérculos e ervas medicinais, objetivando a segurança alimentar.

A primeira tecnologia projeta o reúso de água em um sistema fechado de irrigação por gotejamento em quintal de 300 m² (20 m x 15 m) inseridos em terrenos das famílias, constituídos pelos componentes: caixa de gordura; filtro biológico; tanque de armazenamento de água de reúso; sistema de irrigação por gotejo; minhocário; mini telado para produção de mudas; mangueiras para irrigação de plantas de maior porte e manutenção do minhocário; canteiros para plantações e

cerca viva composta por árvores (Santiago; Jalfim, 2018; Barbosa, 2019). A Figura 10 demonstra os componentes desse sistema.

Figura 10 - Componentes do sistema de reúso familiar com filtro biológico.

A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)



H)



Legenda: A) e B) Caixa de gordura; C) e D) Filtro biológico; E) Tanque de armazenamento; F) Minhocário; G) Mini telado para produção de mudas; H) Canteiro com sistema de gotejamento.

Fonte: Adaptado de Brito *et al.*, 2025.

A segunda tecnologia, mais avançada, além de servir para fins de irrigação na agricultura familiar é aplicável para a dessedentação animal. Os processos de filtragem possuem três FBs para realização da filtragem física, química e biológica. O FB1 possui tecnologia semelhante à do Bioágua, a diferença está em ser construído acima da superfície, sobre o solo. O FB2, considerado o diferencial, possui uma estrutura de placa de cimento impermeabilizado, cinco camadas filtrante, e uma vegetação na superfície (plantas em fase de seleção). O FB3 também diferenciado, com as mesmas estruturas do FB1 e do FB2, conforme Rocha *et al.* (2023) conclui, “a diferença está em uma manilha de concreto armado colocada no centro entre as plantas que caracteriza o “Olho D’água Cinza”, em que a água fica disponível para dessedentação de abelhas, pássaros e roedores, entre outros animais da fauna local”.

Oportunamente, Brito *et al.* (2025) destacaram possibilidades inovadoras trazidas como alternativas para os materiais componentes das camadas filtrantes, em ambas as tecnologias: resíduos sólidos como esponjas usadas, resíduos da construção civil e antracito (tipo de carvão mineral). Não obstante, especialmente quanto ao monitoramento e segurança do reúso, atentaram para a importância de parâmetros como: condutividade elétrica, salinidade e os sólidos dissolvidos total, havendo a possibilidade desses fatores ocasionar a obstrução do sistema reverberando na qualidade da irrigação e a possibilidade de incisão de efeitos adversos nas plantas e em longo prazo, a acumulação de sais minerais nos solos.

Devido à preocupação com aporte de teor de sódio (Na), o reúso de água cinza deve ser racional, tendo em vista que pode alterar as qualidades químicas do solo, causando a dispersão de argila, salinidade e ou sodicidade.

O trabalho realizado por Costa *et al.* (2025), que contemplou uma robusta revisão bibliográfica sobre o reúso de água para irrigação de vinícolas, demonstrou que o uso de águas residuais tratadas para irrigação é mais vantajoso do que o uso de fontes de água tradicionais. Isso porque o alto teor de nutrientes nas águas residuais, incluindo nitrogênio, fósforo e potássio, bem como carbono orgânico, micronutrientes inorgânicos e matéria orgânica, contribuem para o aumento da produtividade das culturas. Paralelamente, reduzem a necessidade de fertilizantes químicos, que têm impactos ambientais e econômicos negativos, promovendo, consequentemente, a economia circular.

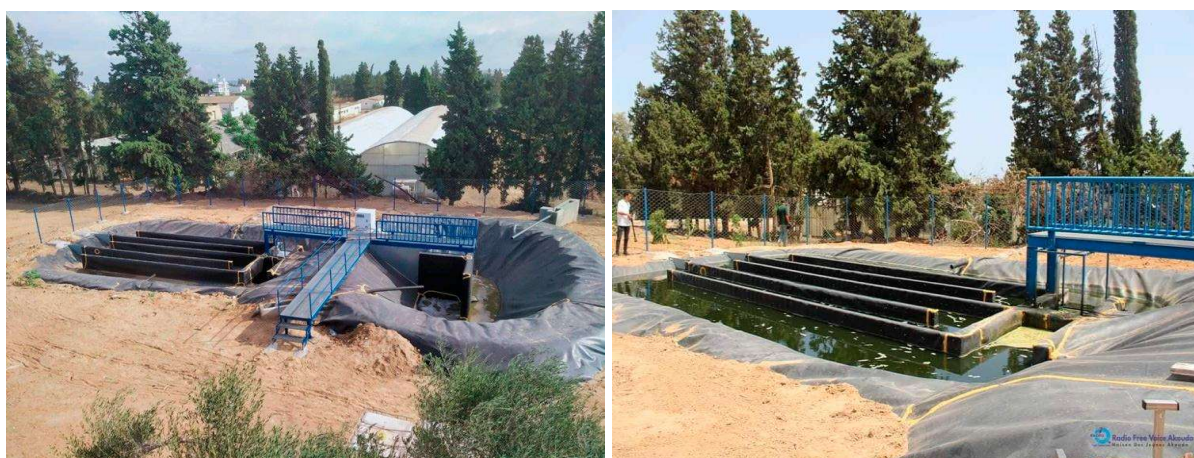
Os autores destacaram ainda, baseados inclusive em estudos de caso feitos no México, na Califórnia e no Líbano, que as águas residuais tratadas oferecem diversas vantagens para a irrigação de vinhedos, especialmente em regiões onde a escassez de água é uma preocupação crescente. Elas fornecem uma fonte de água consistente e acessível durante todo o ano, o que é crucial para manter a saúde das videiras e garantir uma produção satisfatória de uvas. Entretanto, é necessário alertar sobre as desvantagens potenciais desse reúso de água, como o aumento da salinidade do solo, a alteração da absorção de nutrientes pela videira e potenciais impactos nas características do vinho. Embora o alto teor de sal da água reciclada possa influenciar as respostas das plantas, seus efeitos dependem da disponibilidade de nutrientes e da composição específica de sais.

Além disso, como a maior parte da irrigação com águas residuais agrícolas depende de fontes municipais com teor insignificante de metais pesados, o acúmulo desses elementos nos solos dos vinhedos normalmente permanece abaixo dos limites internacionais de segurança. Dessa forma, a implementação bem-sucedida dessa abordagem requer monitoramento e gestão cuidadosos de diversos fatores, incluindo a qualidade do solo, a saúde das plantas, o desenvolvimento dos frutos e o produto do vinho. Portanto, garantir a segurança e a qualidade do vinho, bem como a proteção da saúde do consumidor, exige uma supervisão rigorosa para evitar quaisquer impactos negativos do uso de água de reúso (Costa *et al.*, 2025).

Outra tecnologia importante no âmbito do reúso agrícola foi trazida por Keffala *et al.* (2025), através do projeto e da operação do primeiro tanque combinado em série

de tanque aerado - Oxylag e tanque com algas de alta taxa (COHRAP, do inglês *Combination of Oxilag with a High Rate Algal Pond*) construído no campus universitário na Tunísia para irrigação. O princípio básico do sistema é reduzir a carga orgânica de alimentação do compartimento de algas de alta taxa. Para isso, em posição inicial o tanque aerado – Oxilag é equipado com um sistema de aeração por elevação de ar, que garante a circulação e a homogeneização do efluente, além de aumentar a degradação biológica da matéria orgânica por bactérias. A Figura 11 mostra uma planta piloto desse sistema de tratamento.

Figura 11 - Planta piloto do tratamento com lagoas em série - COHRAP



Fonte: Keffala *et al.*, 2025.

O Quadro 3 detalha as dimensões adotadas para o sistema projetado, trazendo referências sobre as disposições construtivas.

Quadro 3 - Especificações dimensionais do Oxylag e HRAP.

Dispositivo	Comprimento (m)	Superfície de água (m²)	Profundidade (m)	Volume(m³)
Lagoa Oxylag	11	54,3	1,5	57,8
Poço de aeração		4,8	2,7	13,0
Lagoa de alta taxa - HRAP	12,7	86,7	0,5	44,2
Poço de aeração		3,2	2,8	9,0

Fonte: Autoria própria (Adaptado de Keffala *et al.*, 2025).

Ademais, a Figura 12 mostra fotos do poço Oxylag com difusão de ar, demonstrando a estrutura que fundamenta o princípio básico dessa tecnologia.

Figura 12 - Fotos do tanque Oxylag com difusão de ar.



Fonte: Keffala *et al.*, 2025.

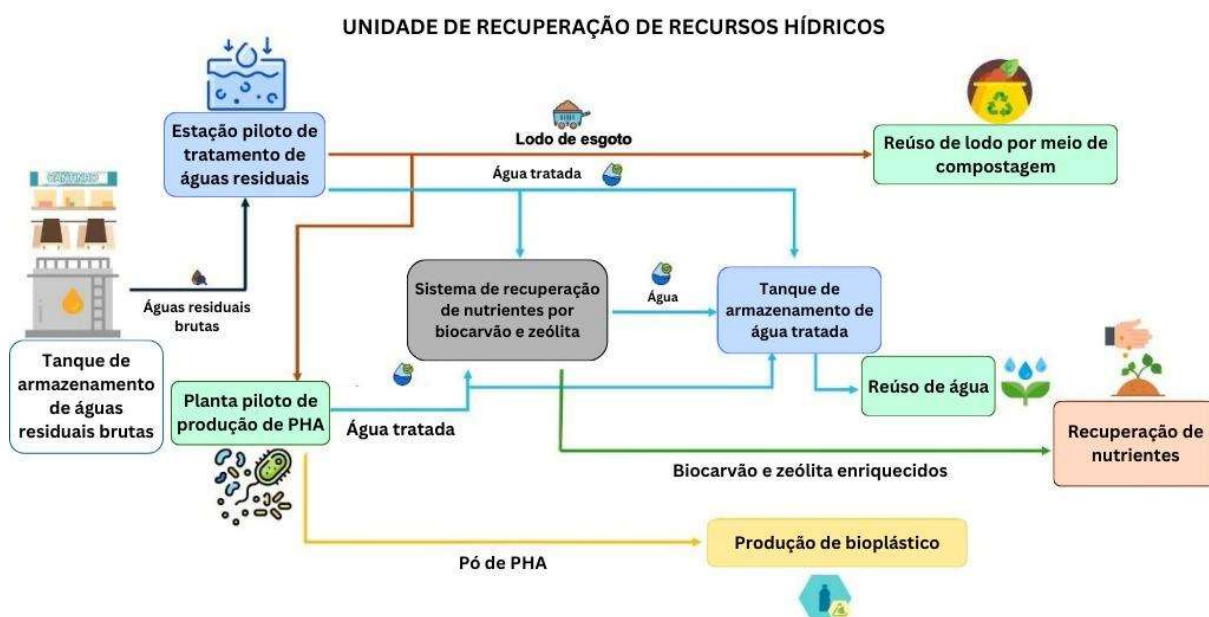
O desempenho do sistema foi avaliado com base nas eficiências de remoção de nutrientes, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), metais pesados, coliformes e produtividade de biomassa. Os resultados indicam que o desempenho do COHRAP foi globalmente satisfatório; no entanto, a produtividade da biomassa foi baixa, indicando a necessidade de ajustes nos parâmetros operacionais. Apesar das limitações do efluente para Sólidos Suspensos Totais (SST) e mercúrio (Hg), nenhum efeito fitotóxico foi observado. Em relação ao teor de metais pesados no lodo e na biomassa de algas, os resultados obtidos estavam em conformidade com normas locais, NT 106.20 e EC 2019/1009, respectivamente. O consumo médio de energia do COHRAP é de 1,05 kWh/m³, resultando em custos operacionais de 0,29 euros/m³ (Keffala *et al.*, 2025).

Outrossim, concluiu-se que o sistema combinado COHRAP é uma alternativa viável e promissora para tratamento de águas residuárias com subprodutos valiosos, adequado para áreas áridas e semiáridas e apresentam inúmeras vantagens, como baixa ocupação do solo e baixo custo de investimento. Além disso, é sustentável a reutilização do efluente para irrigação de árvores frutíferas, cereais e plantas ornamentais, proporcionando altos níveis de recuperação de recursos, promovendo conceitos de economia circular e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (Keffala *et al.*, 2025).

Em pesquisas realizadas na Universidade de Palermo, na Itália, foram avaliados especificamente os efeitos das águas residuais tratadas e dos nutrientes recuperados das águas residuais na cultura do feijão-fava. Inicialmente, houve um

aumento da condutividade elétrica do solo e impacto negativo no crescimento das plantas. No entanto, a aplicação de biochar e zeólita mitigou efetivamente esses efeitos adversos, funcionando como correções. Finalmente, a investigação microbiológica revelou que tanto as vagens quanto as sementes de feijão analisadas não hospedavam bactérias patogênicas. A Figura 13 ilustra a unidade de recuperação de recursos hídricos e a Figura 14 esquematiza a estação de tratamento de esgoto e recuperação de nutrientes (Paliaga *et al.*, 2025).

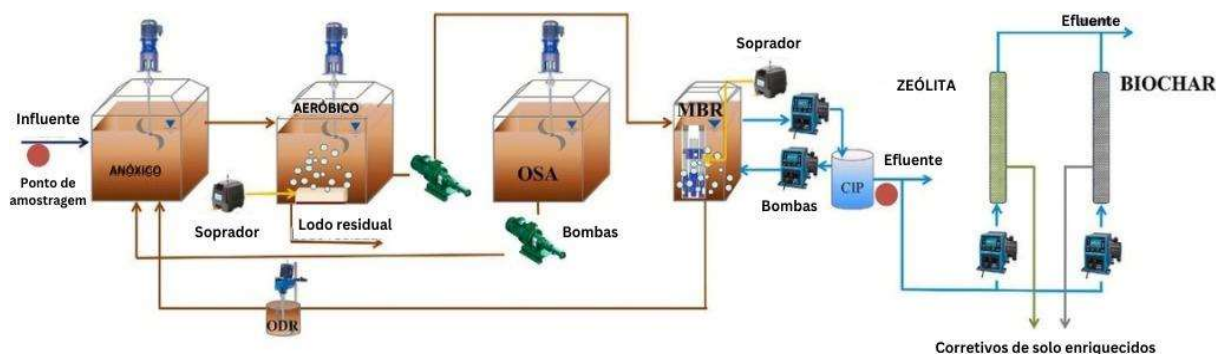
Figura 13 - Vista esquemática da instalação de recuperação de recursos hídricos da Universidade de Palermo.



Legenda: PHA - Poli-hidroxialcanoato (bioplástico natural e biodegradável).

Fonte: Adaptado de Paliaga *et al.*, 2025.

Figura 14 - Vista esquemática da estação piloto de tratamento de águas residuais e do sistema de recuperação de nutrientes.



Legenda: ODR – Reator de esgotamento de oxigênio; OSA - óxido-sedimentação-anaeróbica; MBR – Biorreator de membrana; CIP – Tanque de limpeza no local.

Fonte: Adaptado de Paliaga *et al.*, 2025.

As pesquisas desenvolvidas por Teymennet-Ramírez *et al.* (2025) exploraram uma tecnologia que realiza a biorremediação de 10 dias, através do fungo *Trametes Sanguineus*, nas concentrações de 100%, 70% e 50% da vinhaça de tequila - um efluente com alta DQO e pH ácido, de coloração escura e composição complexa, incluindo água, álcoois, açúcares, compostos fenólicos e proteínas. O tratamento resultou em reduções na cor (48–76%), no conteúdo fenólico (60–68%) e na DQO (22–36%) em todas as condições. Contudo, outros parâmetros, como pH e condutividade elétrica - CE, permaneceram inalterados ou apresentaram variação mínima. Destaca-se ainda que os metais pesados foram reduzidos a valores indetectáveis, provavelmente devido à capacidade do fungo de absorção de metais. A Figura 15 demonstra as alterações nos parâmetros supracitados.

Figura 15 – Composição química da vinhaça antes e depois do tratamento com *T. sanguineus*.

Determinação	Vinhaça 50%	Vinhaça tratada 50%
DBO (mg/L)	4.255,32	2.431,61
Acidez titulável (mg/L)	849,52	580,16
Sólidos suspensos (mg/L)	763,33	280,00
Mercúrio (mg/L)	0,0019	< 0,0005
Chumbo (mg/L)	0,008	< 0,0005

Fonte: Adaptado de Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025.

Além dos benefícios em termos de padrão de qualidade do efluente, a participação do fungo *Trametes Sanguineus* ocasionou crescimento e produção da enzima oxidante lacase, que é um subproduto de alto valor biotecnológico. Nesse sentido, a maior atividade de lacase foi observada na concentração de 50% de vinhaça, atingindo 1.779 U/L no quinto dia de incubação (Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025).

Após os processos de tratamento, foi analisada a capacidade de utilização da vinhaça desintoxicada para o reúso agrícola, através da avaliação do impacto na germinação das sementes e no desenvolvimento das plântulas. Para isso, após a remoção dos fungos, o sobrenadante foi aplicado diretamente em sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) e alface (*Lactuca sativa*). Essas espécies foram utilizadas como plantas-modelo pelo fato de permitirem comparar plantas de germinação rápida e lenta (Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025).

Como resultado, as taxas de germinação excederam 60% em ambas as espécies de plantas, enquanto a vinhaça não tratada inibiu completamente a germinação. Os ensaios de crescimento de plântulas demonstraram que a vinhaça tratada sustentou o alongamento das raízes em tomate e alface, exibindo padrões de crescimento comparáveis aos observados no controle. É oportuno frisar que, apesar dos benefícios acima descritos, análises físico-químicas e etapas de otimização adicionais são necessárias para desenvolver uma estratégia robusta para a reutilização da vinhaça, com foco principal na redução da CE para atender aos padrões agrícolas (Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025).

Os estudos realizados por Specker *et al.* (2025) consideraram a ampla presença de substâncias químicas de interesse emergente (SQIE) em sistemas naturais, especialmente no ambiente aquático, que representa um obstáculo significativo ao reúso da água e ao ambiente receptor. Para o reúso agrícola, foi observado que as concentrações de SQIEs nas culturas produzidas estavam em níveis aceitáveis. Mesmo assim, os autores recomendaram irrigar culturas com baixo potencial de bioacumulação, particularmente aquelas onde as partes consumidas, como frutas, acumulam em geral menos contaminantes.

Ainda nesse contexto, Shi *et al.* (2025) examinaram a acumulação de um conjunto representativo de contaminantes de preocupação emergente, incluindo substâncias perfluoroalquílicas e polifluoroalquílicas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, e partículas de desgaste de pneus, em culturas de rabanete, alface e tomate. Essas culturas geralmente consumidas cruas, sem cozimento, representando o pior cenário de exposição humana. Ademais, a abordagem foi realizada com a técnica de gotejamento sob três práticas de irrigação: irrigação contínua com águas residuais tratadas, irrigação alternada entre águas residuais tratadas e água doce e irrigação apenas com água doce.

Dessa forma, os autores atestaram que usar águas residuárias tratadas apenas para a primeira parte da estação de crescimento representa uma opção eficaz e viável, em escala agrícola, para minimizar a transferência de contaminantes de preocupação emergente para alimentos de origem vegetal. A redução é o resultado de efeitos combinados devido à degradação do solo, metabolismo na planta, diluição do crescimento e outros fatores.

No trabalho realizado por Ranera *et al.* (2025) o objetivo foi identificar os principais obstáculos à adoção generalizada do reúso de água na agricultura na

Espanha e propor possíveis estratégias de mitigação. Elas constataram que apesar do progresso na recuperação e reutilização de água para irrigação agrícola na Espanha, ainda persistem barreiras significativas. As barreiras mais influentes estão relacionadas à poluição potencial, à coordenação institucional insuficiente e à falta de agilidade nos procedimentos administrativos.

Nessa perspectiva, as autoras explicitaram que os esforços para enfrentar esses desafios envolvem o aprimoramento das regulamentações que regem a água recuperada. Barreiras adicionais, como custos elevados, riscos à saúde e limitações legais e tecnológicas, devem ser enfrentadas por meio de ações de conscientização pública direcionadas nas campanhas maior apoio econômico e revisão de estruturas regulatórias para equilibrar a proteção ambiental e a viabilidade financeira.

Ainda sobre os riscos e obstáculos para o reúso, Carnesi *et al.* (2025) afirmaram que as práticas de reutilização de água ainda precisam ser implementadas de forma consistente em toda a Europa e globalmente, principalmente devido à confiança social insuficiente e às complexidades da governança em torno das técnicas de reutilização de água. Ressaltaram ainda o cenário regulatório na União Europeia-UE e a necessidade de uniformização das legislações de reúso de água. Nesse cerne, o regulamento mais recente de 2020 da UE exige o desenvolvimento de Planos de Gestão de Riscos de Reutilização de Água para todas as instalações de recuperação.

Foi proposta uma estrutura inovadora de avaliação de riscos à saúde e ao meio ambiente. Essa estrutura contempla uma análise combinada da probabilidade e gravidade dos riscos à saúde e riscos ambientais com a gravidade segundo a concentração dos patógenos, avaliando sólidos suspensos totais - SST, turbidez, demanda biológica de oxigênio - DBO5 e *Escherichia coli* - *E. coli*. Os resultados obtidos com a estrutura proposta são muito promissores em relação ao futuro reúso agrícola de água, uma vez que se apresentaram como de baixo risco (Carnesi *et al.*, 2025).

Foi possível observar que o reúso de água na agricultura foi a modalidade mais recorrente nos trabalhos, com avanços tecnológicos para soluções individualizadas e até mesmo mais amplas. Ademais, paralelamente ao grande consumo de água das práticas agrícolas, essa aplicação de reúso apresenta riscos relativamente menores se comparados com as outras modalidades de reúso. Ainda assim, é importante conciliar os processos de tratamento, os parâmetros de qualidade, as culturas

escolhidas e as técnicas de irrigação de forma adequada, para garantir a prática segura desse reúso.

7.1.2 Reúso Industrial

Nesta categoria, os trabalhos analisados demonstraram que o reúso no setor industrial se destaca pelo uso de tecnologias avançadas e pela busca de soluções que conciliem eficiência econômica e redução do impacto ambiental. Foi identificada uma tecnologia promissora de sistemas de filtração à base de quartzo, aprimorados com nanopartículas hidrofílicas para separação eficiente de óleo e água. Nesse viés, destaca-se que o processo de separação de óleo e água possui um grande peso no tratamento de efluentes industriais.

Convém ressaltar que para a aplicação da prática do reúso de água em indústrias, existem duas alternativas a serem consideradas: o reúso macro externo e o reúso macro interno. O primeiro é definido como o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por concessionárias ou outras indústrias. O segundo é definido como o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria e pode ser de duas maneiras distintas: reúso em cascata e de efluentes tratados (SEBRAE, 2005).

No processo de reúso em cascata o efluente gerado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado em um outro processo subsequente, sem receber tratamento, visto que o efluente gerado atende aos requisitos de qualidade da água exigidos pelo respectivo processo. Quanto ao Reúso de efluentes tratados, consiste na utilização de efluentes gerados localmente, após tratamento adequado para a obtenção da qualidade necessária aos usos pré-estabelecidos. É importante frisar que essa é a forma de reúso que tem sido mais utilizada na indústria (SEBRAE, 2005).

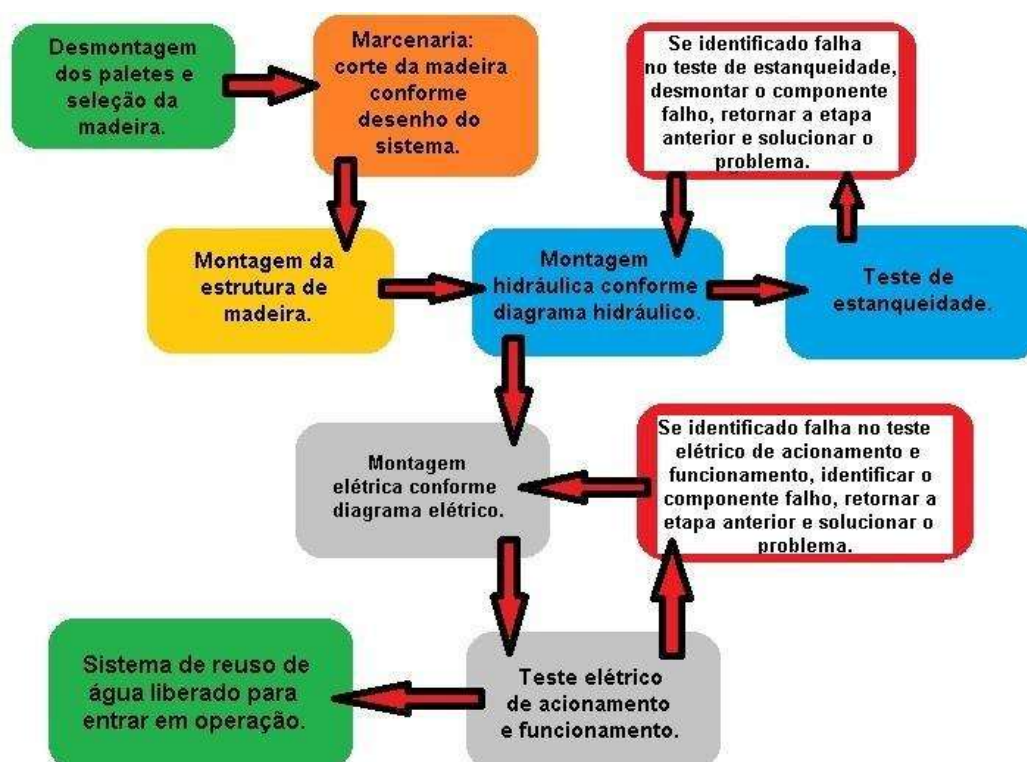
Na avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados, deve ser considerada a elevação da concentração de contaminantes que não são eliminados pelas técnicas de tratamento empregadas. Na maioria das indústrias, as técnicas utilizadas de tratamento de efluentes não permitem a remoção de compostos inorgânicos solúveis. Por segurança, para avaliar o aumento da concentração desses compostos nos ciclos de reúso, adota-se uma variável conservativa, que seja representativa da maioria dos processos industriais. Na maioria dos casos é adotado o parâmetro “Sólidos

Dissolvidos Totais (SDT)” nos balanços de massa para determinar as porcentagens máximas de reúso possíveis (SEBRAE, 2005).

A tecnologia trazida por Ferreira e Furtado (2024) consiste em um método adaptado para determinação da vazão ótima de funcionamento de destiladores, estabelecidos os parâmetros físico-químicos e microbiológico para determinação da vida útil da água reutilizada e avaliação da viabilidade econômica do sistema de reúso implantado. Tal abordagem é relevante, pois acarreta a diminuição dos custos operacionais a partir da implantação do reúso, visto que os destiladores consomem grande volume de água tratada. Outrossim, os autores concluíram que se não for utilizado um sistema de reúso da água, para cada hora de funcionamento do destilador, no mínimo 159,7 litros de água seriam descartados no esgoto.

A Figura 16 detalha os processos de fabricação e montagem do sistema de reúso proposto.

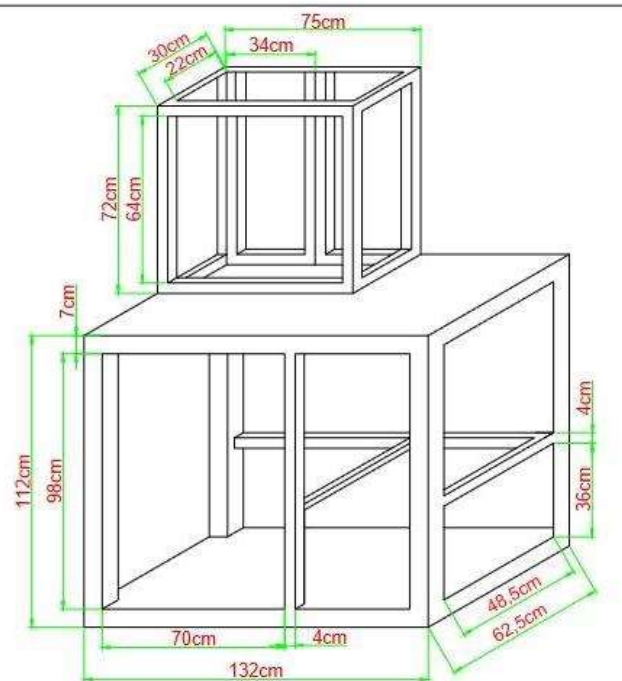
Figura 16 - Fluxograma de fabricação e montagem do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

Para proporcionar uma melhor compreensão da tecnologia, serão expostas a seguir, figuras estratégicas. A Figura 17 mostra uma representação em perspectiva isométrica da estrutura e disposições construtivas do sistema projetado.

Figura 17 - Representação em perspectiva isométrica da estrutura do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

Na sequência, a Figura 18 representa o diagrama hidráulico do sistema.

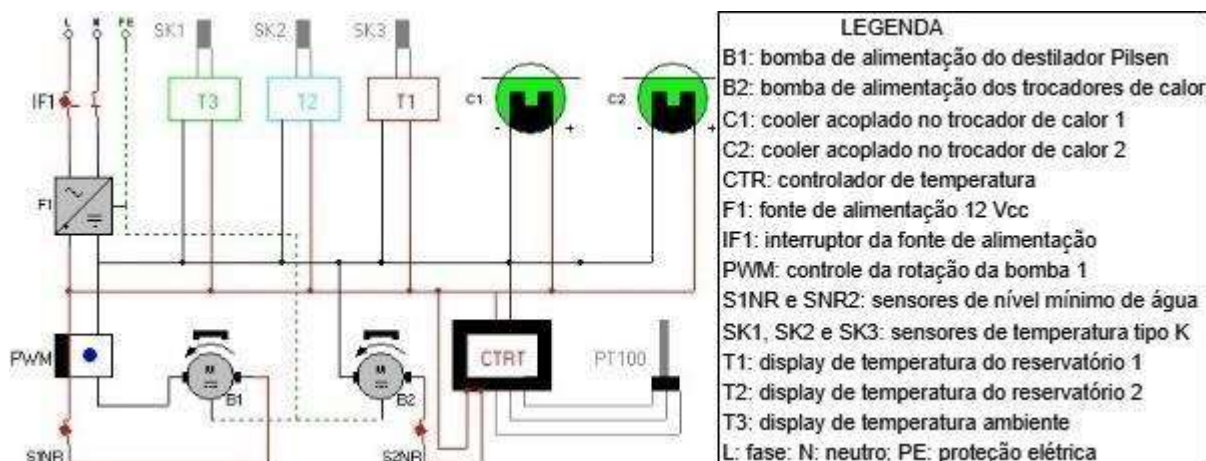
Figura 18 - Diagrama hidráulico do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

Por sua vez, a Figura 19 mostra o diagrama elétrico do sistema.

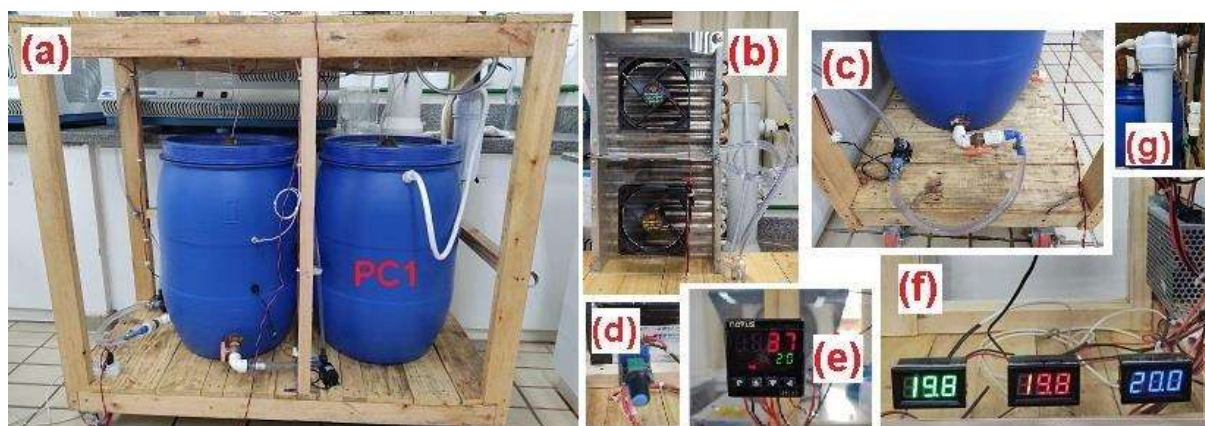
Figura 19 - Diagrama elétrico do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

A vida útil da água reutilizada foi de 36 dias, respeitando-se as análises físico-químicas e microbiológicas definidas para a água do sistema - pH, CE, dureza total, cloro livre, sólidos totais dissolvidos e presença de bactérias heterotróficas. É importante salientar ainda que a definição da vazão ideal para o sistema foi essencial, uma vez que a utilização de vazões abaixo da mínima definida poderia afetar a integridade do equipamento, devido ao seu sobreaquecimento (Ferreira; Furtado, 2024). A Figura 20 mostra o sistema de reúso de água para destiladores pilsen.

Figura 20 - Sistema de reúso de água para destiladores Pilsen



Fonte: Adaptado de Ferreira e Furtado (2024).

Na figura acima é possível entender como o sistema de reúso de água para destiladores Pilsen ficou após finalizada a etapa de fabricação. A parte “(a)” consiste na região inferior da bancada do sistema, onde estão posicionados os reservatórios de água, válvulas de manutenção e as bombas de circulação. Além disso, observa-se um dos reservatórios com a sigla PC1, que o identifica como ponto de coleta de amostras da água do sistema. A parte “(b)” contempla os trocadores de calor e coolers responsáveis pelo resfriamento do efluente, cujo acionamento é realizado pelo

controlador de temperatura visto na parte “(e)”. Já a porção “(c)” compreende a bomba responsável por alimentar o destilador, cujo controle de rotação é realizado pelo PWM visto na parte “(d)”. Em seguida, a parte “(g)” traz o filtro instalado na alimentação de água do sistema. Por último, na parte “(f)” estão os displays para monitoramento das temperaturas dos reservatórios e do ambiente (Ferreira; Furtado, 2024).

É possível observar que os insumos e procedimentos técnicos descritos nessa tecnologia são relativamente simples e disponíveis no mercado, fato que indica boa possibilidade de aplicação das técnicas apresentadas. Além disso, a abordagem feita enquadra-se como um processo de reúso em cascata.

Ramanamane e Pita (2025) trabalharam numa tecnologia centrada no desenvolvimento de um sistema de filtração de óleo-água de alto desempenho, utilizando partículas de quartzo enriquecidas com nanopartículas hidrofílicas, para aprimorar as tecnologias de separação de óleo-água. Atualmente, vários métodos de filtração, incluindo membranas poliméricas, membranas cerâmicas, adsorção de carvão ativado e eletrocoagulação, têm sido amplamente utilizados para separação de óleo e água. Peculiarmente, cada tecnologia apresenta vantagens distintas e limitações baseadas na eficiência de separação, resistência à incrustação, complexidade operacional, e sustentabilidade de custos.

Os resultados para o processo de tratamento foram satisfatórios, indicando a tecnologia como promissora e viável para o reúso de água na indústria. Foi confirmado que um revestimento de nanopartículas hidrofílicas de camada única em membranas de filtração de quartzo fornece o equilíbrio ideal entre permeabilidade, eficiência de separação óleo-água e estabilidade estrutural (Ramanamane; Pita, 2025). Desse modo, essa tecnologia faz parte da tipologia de reúso de efluentes tratados na indústria, uma vez que é baseada em processos de tratamento dos efluentes.

Por oportuno, para a prática adequada do reúso industrial deve ser identificada a qualidade mínima da água necessária para um determinado processo ou operação industrial. A partir daí, após estudos de tratabilidade dos efluentes, define-se o sistema de tratamento que produza água com qualidade compatível com o processo industrial (SEBRAE, 2005).

No geral, é possível observar avanços na otimização de processos internos e nas tecnologias de separação e tratamento mais eficientes. Porém existem barreiras econômicas, regulatórias e operacionais que limitam a difusão dessas tecnologias, especialmente para empreendimentos de pequeno porte. Ademais, é pertinente

lembrar que alguns setores necessitam de regulamentação específica em relação à qualidade de água a ser utilizada. No caso do setor industrial, cada indústria tem uma necessidade diferente da outra e isso pode onerar desnecessariamente a água de reúso para um determinado fim, caso haja uma universalização da parametrização (CEBDS, 2022).

7.1.3 Reúso em edificações e uso urbano

Nesta categoria, os estudos abordam sistemas descentralizados e integrados, voltados à economia hídrica tanto em edificações quanto em ambientes urbanos de forma geral. Foram elencadas tecnologias inovadoras que envolvem o aproveitamento de águas pluviais, associados a tratamento preliminar, processos de filtragem e *wetland* de fluxo híbrido. Além disso, foram feitas análises de viabilidade de aproveitamento de ETE's para o reúso urbano e proposta uma metodologia para avaliação da viabilidade de projetos de reúso.

É válido destacar que existem leis nacionais e normas técnicas da associação brasileira de normas técnicas – ABNT que regulamentam a prática do reúso em edificações e uso urbano, estabelecendo requisitos importantes para a eficiência dos sistemas e segurança dos usuários.

A Lei 14.546/2023 dispõe que a União estimulará o uso das águas de chuva e o reúso não potável das águas cinzas em novas edificações e nas atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais. Outrossim, determina que as águas de chuva e as águas cinzas devem passar por processo de tratamento que assegure sua utilização segura, previamente à acumulação e ao uso na edificação (BRASIL, 2023).

Acerca das possibilidades de utilização de fontes alternativas de água não potável em uma edificação, destacam-se o reúso de água (cinza e negra), aproveitamento da água pluvial, água de chuva, água clara e água de rebaixamento de lençol freático (ABNT, 2019). Quanto aos usos não potáveis em edificações contemplam sistemas de resfriamento a água, descargas de bacias sanitárias e mictórios, lavagem de veículos, lavagem de pisos, reserva técnica de incêndio, uso ornamental e irrigação paisagística (CBIC, 2019; ABNT, 2019).

Ainda nesse contexto os parâmetros de qualidade da água a serem atendidos são: *Escherichia coli* (<200/100 mL), turbidez (< 5,0 uT e pH entre 6,0 e 9,0. Todos

eles devem ter frequência mínima de amostragem semestral. Por fim, é necessário um pré-tratamento antes da reservação e, se necessário, tratamento por processos físicos e/ou químicos (CBIC, 2019; ABNT, 2019).

Nesse sentido, os artigos científicos trouxeram abordagens que se conectam diretamente com os preceitos normativos discutidos. Sant'Ana *et al.* (2023) estudaram a integração de sistemas de captação de águas pluviais e tratamento de águas cinzas em edifícios de escritórios em Brasília, no Distrito Federal. Inicialmente foram analisados os desempenhos de sistemas de aproveitamento das águas de chuvas e de sistemas de reúso de águas cinzas separadamente. Como resultado, o aproveitamento das águas de chuva em sistemas de ar-condicionado, irrigação e lavagem de pisos trouxeram benefícios econômicos equivalentes a cento e trinta e dois metros cúbicos por edificação por ano, enquanto o reúso de água cinza em descarga sanitária acarretou economias de setecentos e vinte metros cúbicos por edificação por ano.

Todavia, constataram que aproveitar a água de chuva em descargas sanitárias demonstrou-se tecnicamente inviável, pois não há área de cobertura suficiente para suprir a demanda de água necessária. Por outro lado, a oferta de água cinza seria insuficiente para atender à demanda em descargas sanitárias e em outros usos não potáveis. Diante disso, estrategicamente propuseram a combinação desses sistemas de forma complementar e chegaram à conclusão de que o sistema unificado é capaz de promover economias equivalentes a 851 m³ por edificação por ano, o que representaria uma redução na demanda urbana de água de aproximadamente 85.983,32 m³/ano e de R\$ 442.814,10 nas despesas de exploração por ano.

As pesquisas realizadas por Vigneswaran *et al.* (2025) exploraram melhorias em relação ao reaproveitamento das águas pluviais. O ponto de partida foi o cenário atualmente predominante, em que os sistemas de tratamento usuais não alcançam a qualidade necessária para o reúso, além do que o alto volume das águas de chuva torna-se uma barreira para o armazenamento, sobretudo nos centros urbanos com espaços limitados. Diante disso, a incorporação de pré-tratamento pode melhorar a qualidade da água armazenada, tornando-a mais adequada para reúso benéfico.

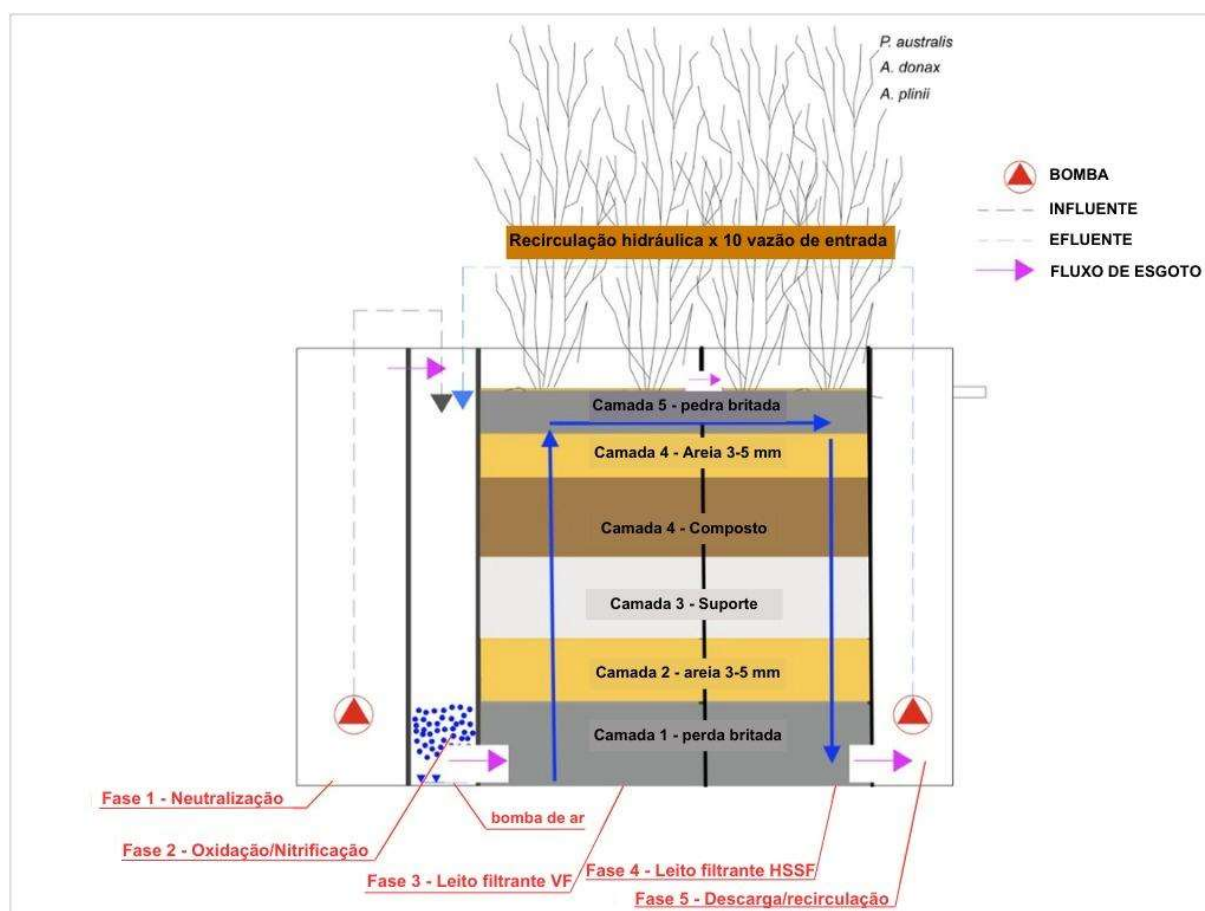
Nesse cenário, os autores observaram que diversos meios filtrantes, como os encontrados em telhados verdes, sistemas de biorretenção e valas, removem com eficácia poluentes como nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e micro poluentes. Também, os filtros de carvão ativado granular (CAG)

são excelentes na redução de metais pesados e carbono orgânico dissolvido, com pré-triagem por meio de filtros de antracito para estender a vida útil do CAG, retendo sedimentos e poluentes. Salientaram ainda que o gerenciamento de contaminantes emergentes e microplásticos permanece pouco explorado e requer mais investigação.

Ainda na perspectiva do reúso de águas pluviais, uma inovadora solução baseada na natureza, usando um *Wetland* construído de fluxo híbrido com as macrófitas aquáticas *Arundo donax*, *Phragmites australis* e *Juncus acutus*, foi testada em escala piloto para atender aos padrões de qualidade para águas residuais reutilizáveis. Destaca-se que as macrófitas usadas foram capazes de crescer sem quaisquer sinais de toxicidade e que o sistema apresentou eficiência na remoção dos poluentes presentes (Tammone *et al.*, 2025).

A Figura 21 esquematiza a zona úmida de fluxo híbrido em questão, mostrando a sua planta piloto.

Figura 21 - Planta piloto do Wetland híbrido



Fonte: Autoria própria (adaptado de Tammone *et al.*, 2025).

Oportunamente, é importante frisar que o aproveitamento das águas pluviais desempenha papel estratégico semelhante ao reúso, posto que reduz a pressão sobre

os mananciais superficiais e subterrâneos, diminui o consumo de água potável e contribui para sistemas urbanos mais resilientes.

Em outra abordagem, Soares *et al.* (2025) analisaram a adequação das águas tratadas de Estações de Tratamento de Esgoto - ETE's em Minas Gerais para o reúso de água urbano. Destaca-se que as ETEs estudadas são dotadas de um processo de tratamento combinado anaeróbio/aeróbio, utilizando Reatores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente (UASB, do inglês *Anaerobic Upflow Sludge Blanket*) seguidos por filtros biológicos percoladores. Em relação aos parâmetros, foram analisados e comparados com a legislação estadual vigente: *Escherichia coli*, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio e pH.

Por conseguinte, concluíram que apesar da estação de tratamento atender aos parâmetros de lançamento de águas tratadas em cursos d'água, DBO e DQO, os parâmetros biológicos ainda não são adequados para o reúso seguro, especialmente quanto aos níveis de coliformes termotolerantes, que excedem os limites recomendados. Desse modo, ficou clara a necessidade da adoção de tratamentos terciários para desinfecção como a desinfecção por cloração, ozonização ou radiação ultravioleta, fundamentais para a redução dos microrganismos remanescentes.

No estudo desenvolvido por Costa Filho *et al.* (2025), foi apresentado um modelo inovador de apoio à decisão para projetos de reúso de água, identificando indicadores e parâmetros relevantes. Com base em uma revisão bibliográfica, foram propostos quatro indicadores ou dimensões (técnica, social, ambiental e econômica) e doze parâmetros (por exemplo, segurança de ETEs, complexidade do transporte, existência de legislação, risco à saúde e ao meio ambiente, consumo de energia, grau de aceitação e investimento necessário e custos de operação e manutenção).

Além disso, o método processo de hierarquia analítica difusa (FAHP, do inglês *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*), descrito na Figura 22, foi utilizado como componente do modelo para determinar os pesos dos indicadores e parâmetros, a fim de permitir o cálculo de um índice de viabilidade de reúso de água (RFI, do inglês *water reuse potential feasibility index*).

Figura 22 - Peso dos indicadores e parâmetros locais e globais

Indicador	Peso Local C_i	Parâmetros	Peso Local C_{ij}	Peso Global W_{ij}
Técnico	0,354	Complexidade do transporte	0,340	0,12
		Segurança e resiliência da ETE	0,391	0,14
		Existência de legislação	0,268	0,1
		Grau de aceitação	0,435	0,11
Social	0,242	Grau de necessidade	0,332	0,08
		% de coleta e tratamento de esgoto	0,233	0,06
		Risco à saúde pública	0,676	0,09
Ambiental	0,132	Consumo de energia da ETE	0,130	0,02
		Risco ao meio ambiente	0,194	0,03
		Investimento necessário	0,373	0,1
Econômico	0,272	Taxas de operação e manutenção	0,133	0,04
		Benefícios econômicos	0,493	0,13

Fonte: Adaptado de Costa Filho *et al.* (2025).

Complementarmente, a Figura 23 sistematiza o cálculo do índice de viabilidade de reúso de água.

Figura 23 - Índice de viabilidade de reúso de água

$$\text{Adota-se: } W_{ij} = C_i \times C_{ij} \text{ e } RFI = \left[\sum (W_{ij} \times K_{ij}) \right] \times 100$$

	RFI (%)	Classificação
Índice de viabilidade de reúso de água (RFI)	81-100	Viabilidade muito alta
	61-80	Alta viabilidade
	41-60	Viabilidade média
	21-40	Baixa viabilidade
	0-20	Viabilidade muito baixa

Fonte: Adaptado de Costa Filho *et al.* (2025).

Os autores aplicaram o modelo proposto na cidade de Aquiraz, Ceará, Brasil. Nesse contexto, o índice de viabilidade de reúso de água (RFI) determinado foi de oitenta e dois por cento, o que significa que o projeto de reúso de água apresentou viabilidade muito alta. Este resultado sugere um forte potencial para a implementação de iniciativas de reúso de água na região. Ressalta-se ainda que a lista de indicadores e parâmetros propostas não é exaustiva, podendo ser incluídos outros fatores relevantes, dependendo do contexto local e dos requisitos específicos de cada projeto.

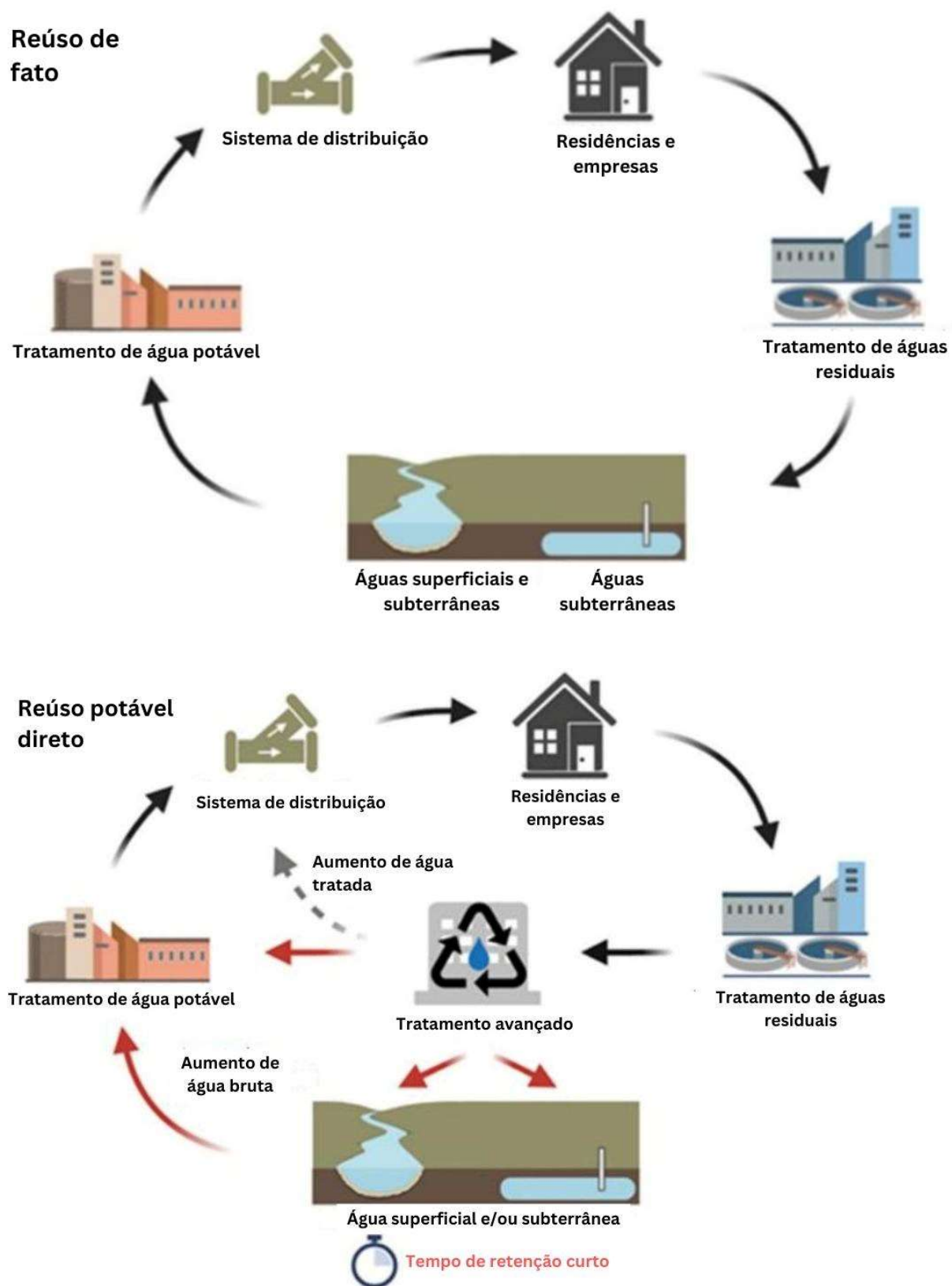
7.1.4 Reúso potável

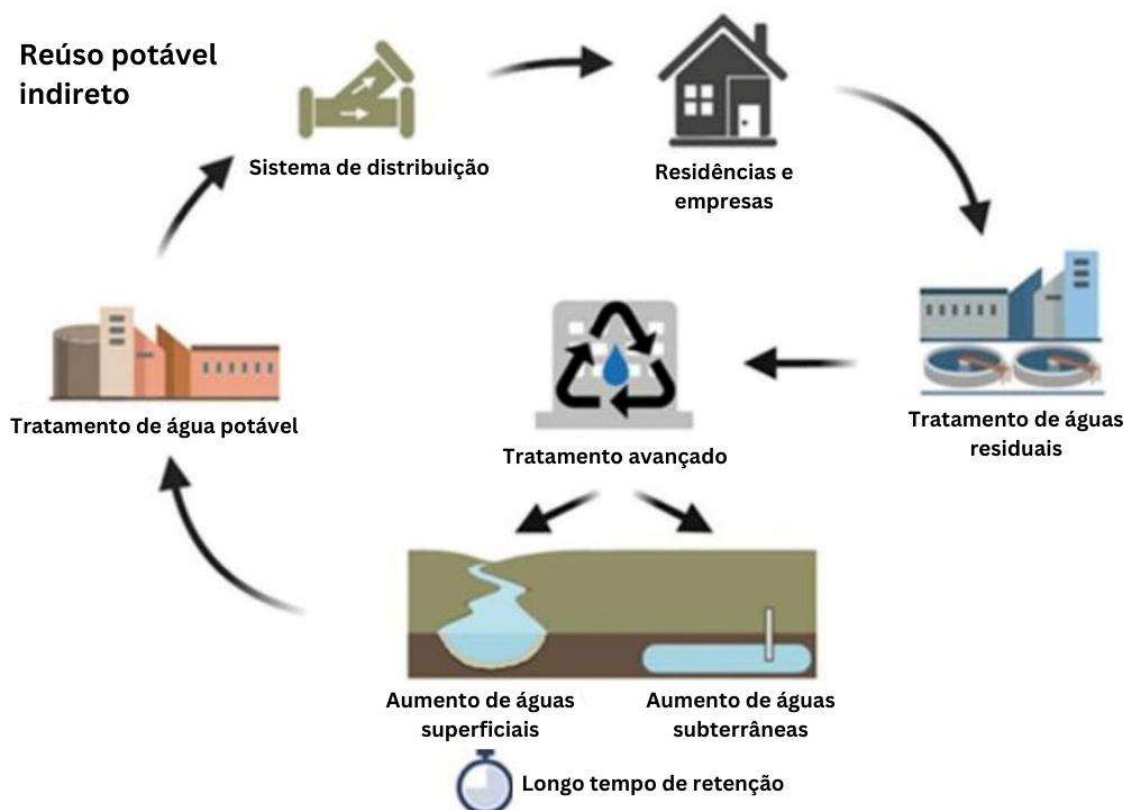
A categoria de reúso potável envolve particularidades em relação aos controles de qualidade e gerenciamento dos riscos à saúde humana, tendo em vista o potencial de veiculação de doenças que a água possui. Essa modalidade de reúso é a de maior risco e, para mitigá-los, costuma-se realizar processos tratamento avançados múltiplos e associados.

Em uma abordagem disruptiva Clements *et al.* (2025) realizaram avaliações quantitativas de risco microbiano (QMRA, do inglês *quantitative microbial risk assessments*) sobre reúso potável da água. Nessa perspectiva, foram contemplados o reúso potável direto, o reúso potável indireto e o reúso de fato, além de uma variedade de patógenos, incluindo norovírus, adenovírus, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Campylobacter* e *Salmonella*.

Segundo os autores o reúso potável indireto envolve o descarte planejado de água reciclada em uma área de proteção ambiental, como um aquífero, rio ou lago, antes de ser tratada e utilizada como água potável. O reúso potável direto, por seu turno, ocorre quando a água é tratada e adicionada ao sistema de água potável por meio de aumento de água bruta (a montante da estação de tratamento de água potável) ou aumento de água tratada (no sistema de distribuição). Por fim, o reúso de fato ocorre quando há influência não planejada ou acidental de águas residuais na fonte de água potável de uma comunidade. A Figura 24 ilustra as diferenças entre os reúsos potáveis.

Figura 24 - Diferenças entre os reúso potáveis





Fonte: Adaptado de Clements *et al.* (2025).

Os estudos demonstraram que há muitos fatores que impactam os riscos estimados por QMRAs de reuso potável, incluindo a proporção assumida de cópias de genes para unidades infecciosas, o volume e a frequência assumidos de ingestão de água, se a simulação foi dinâmica ou estática e se a modelagem bayesiana foi usada. No entanto, as QMRAs devem considerar os impactos que suposições críticas, como frequência de ingestão, concentrações de patógenos, processos de tratamento da unidade e falhas de tratamento, têm sobre o risco (Clements *et al.*, 2025).

Em uma perspectiva mais ampla sobre o reuso potável direto com ênfase nos patógenos virais e compostos perfluorados, Abbaszadegan *et al.* (2025) estudaram os tratamentos aplicáveis para o esse tipo de reuso. Baseados em diversas pesquisas e aplicações no Estados Unidos da América, eles indicaram um fluxo estratégico das principais tecnologias de tratamento de água que são empregadas no reuso direto potável, em duas fases. Na primeira fase, são realizadas as etapas sequenciais: triagem, biorreator de membrana, desinfecção por cloramina, osmose reversa, processo de oxidação avançada ultravioleta. Na segunda fase, é feita a mistura de água subterrânea e água tratada na proporção 1:1 em um tanque, seguido de ultrafiltração, desinfecção ultravioleta, carvão ativado granular e cloração, antes de ir para o sistema de distribuição.

Adicionalmente, os autores salientaram que o reúso de águas residuais acarreta, intrinsecamente, maiores riscos à saúde pública. Por isso, é essencial a realização de monitoramentos confiáveis através de sensoriamento para propriedades físicas e detecções microbianas, especialmente em tempo real, complementando os resultados das análises de amostras já habitualmente realizadas. Ressaltaram ainda a importância da sustentabilidade dos processos de tratamento avançados, tendo em vista que as técnicas empregadas são de elevada demanda energética.

Outra tecnologia emergente abordada consiste em usar o sequenciamento *Shotgun* para caracterizar a diversidade filogenética e funcional em cada ponto dentro de um sistema de tratamento de reúso potável. Os testes foram feitos no sul da Califórnia, em um processo de tratamento sequenciado em: clarificação primária, lodo ativado com nitrificação e desnitrificação parcial, filtração terciária, ozonização, filtração biológica de carvão ativado, filtração por membrana, osmose reversa e oxidação avançada/UV. Para o monitoramento, amostras foram coletadas de águas residuais não tratadas e do efluente de cada processo de tratamento. Por fim, os dados revelaram mudanças significativas na composição da comunidade microbiana, sobretudo na diversidade filogenética e funcional em cada ponto do sistema de tratamento de reúso potável (Wong *et al.*, 2025).

As pesquisas realizadas por Specker *et al.* (2025) partiram do princípio de que a presença onipresente de substâncias químicas de interesse emergente (SQIE) em sistemas naturais, especialmente no ambiente aquático, representa um obstáculo significativo ao reúso da água e ao ambiente receptor. Diante disso, estudaram os riscos envolvidos no reúso potável indireto e reúso agrícola e, com base nos quocientes de risco calculados, identificaram riscos ecológicos para ácido perfluorooctanossulfônico, clorpirifós, triclocarbono e etinilestradiol, e riscos à saúde humana para ácido perfluorooctanossulfônico e ácido perfluorooctanóico.

No que tange ao reúso indireto potável, uma avaliação completa dos riscos de SQIEs durante o reúso da água é atualmente limitada devido ao foco em uma classe definida de contaminantes na literatura, ou seja, produtos farmacêuticos, e fica aquém das substâncias perfluoroalquiladas e polifluoroalquiladas. Finalmente, alertaram que os sistemas de reúso de água devem ser completamente compreendidos e gerenciados antes que o reúso intencional de água possa ser implementado em larga escala para garantir riscos aceitáveis.

Dessa forma, observa-se que essa categoria de reúso necessita de mais avanços, sobretudo na parte regulatória brasileira para viabilizar efetivamente a prática do reúso. Isso porque a definição de parâmetros adequados é fundamental para balizar os processos de tratamento empregados, de uma forma eficaz e viável técnico-economicamente. Apesar disso, foi constatado avanços quanto às técnicas de tratamento, avaliação de risco à saúde pública e monitoramento.

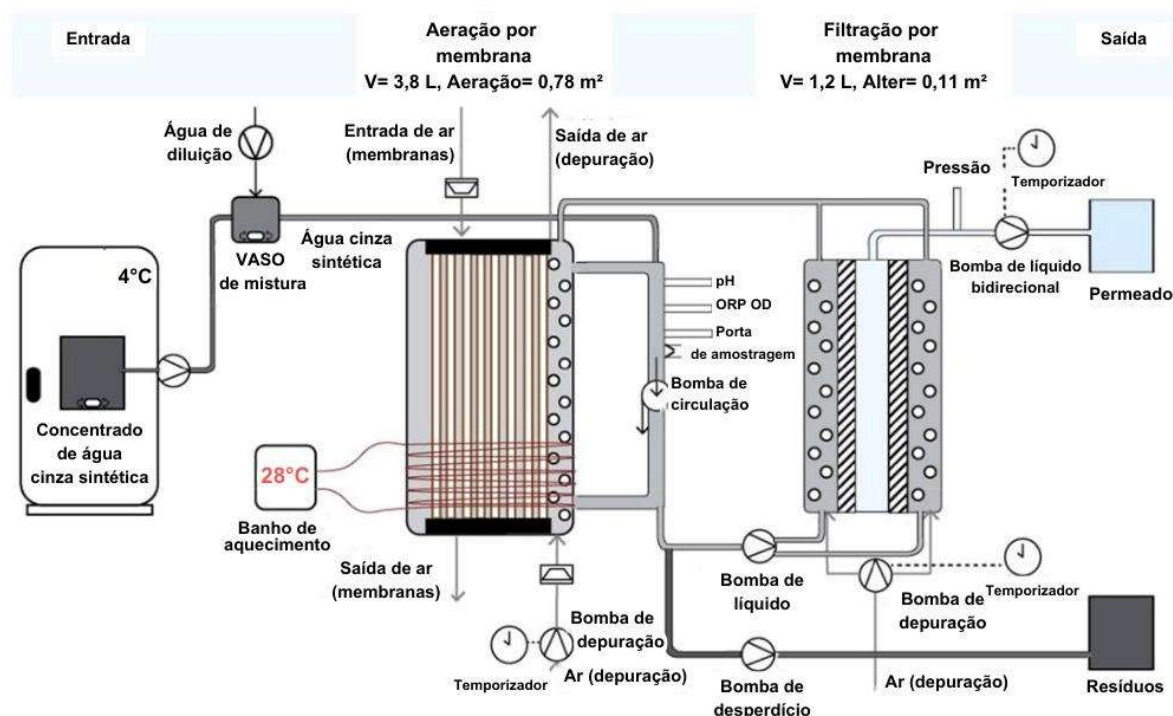
7.1.5 Outras aplicações Inovadoras

Nesse eixo temático, foram abordadas tecnologias inovadoras de tratamento com ênfase para os reúsos não-potáveis em suas diferentes modalidades, avaliações de riscos e aspectos de gestão hídrica. O foco recai sobre usos estratégicos do reúso de água, voltados a setores energéticos renováveis, industriais e de recuperação de recursos.

Foi notória a proposição de tecnologias de tratamento para o reúso de água através de processos de filtração com membranas aeradas em biorreatores, filtração direta descendente e ultrafiltração. Esses processos apresentam um bom potencial de aplicação, uma vez que apresentam capacidade de remoção de contaminantes satisfatória.

Timmer *et al.* (2025) investigaram um novo biorreator de membranas aeradas por bolhas (MA-MBR) que integra aeração e filtração por membrana para reduzir o consumo de energia e a pegada do sistema, permitindo o reúso não potável com eficiência de recursos. Os resultados obtidos indicaram o MA-MBR como uma alternativa de baixa demanda energética e baixa incrustação para remoção de carbono de águas residuais com relações DQO/N relativamente altas e pode melhorar a eficiência de recursos para reúso de água não potável, por exemplo, em aplicações descentralizadas de separação na fonte. A Figura 25 detalha o diagrama de fluxo do processo de tratamento do reator MA-MBR.

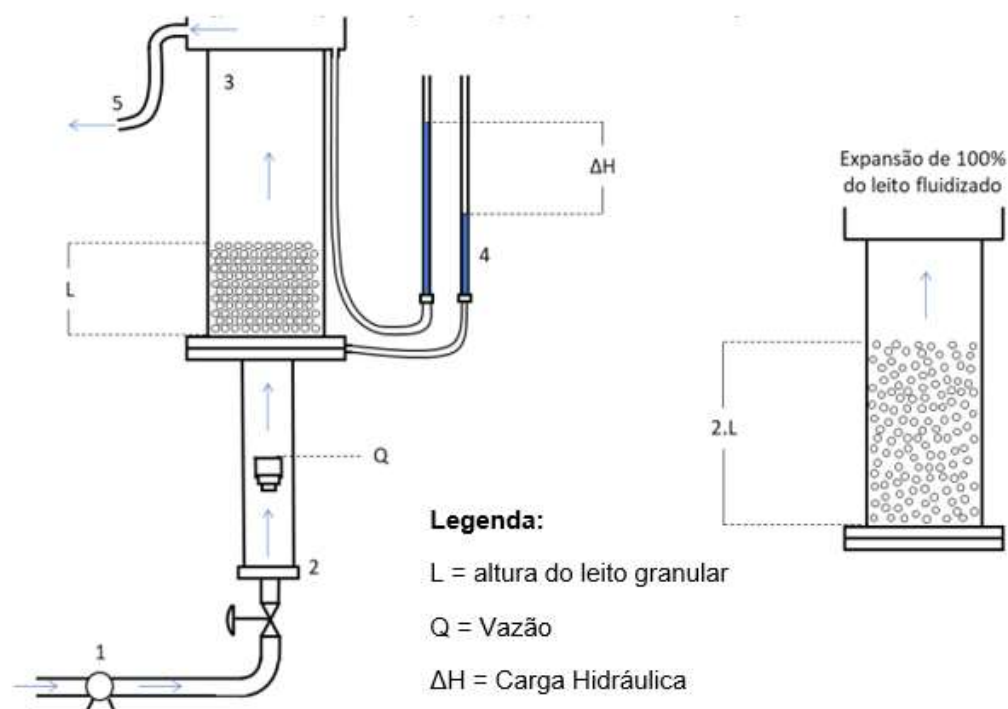
Figura 25 - Diagrama do fluxo de processo do reator MA – MBR



Fonte: Adaptado de Timmer *et al.* (2025).

Outra tecnologia pesquisada foi quanto ao uso da Filtração Direta Descendente (FDD) para a produção de água de reúso, relacionado a etapa de retrolavagem do leito granular. A tecnologia de FDD (Figura 26) se potencializa como uma alternativa simples e de baixo custo, por se basear em dois processos: uma etapa química, a coagulação e outra etapa física, filtração em areia. Destaca-se que no fim da carreira de filtração, quando os filtros são colmatados, as impurezas devem ser retiradas para uma nova filtração, efetuando-se a retrolavagem do filtro (Trecossi *et al.*, 2023).

Figura 26 - Equipamento de fluidização de areia

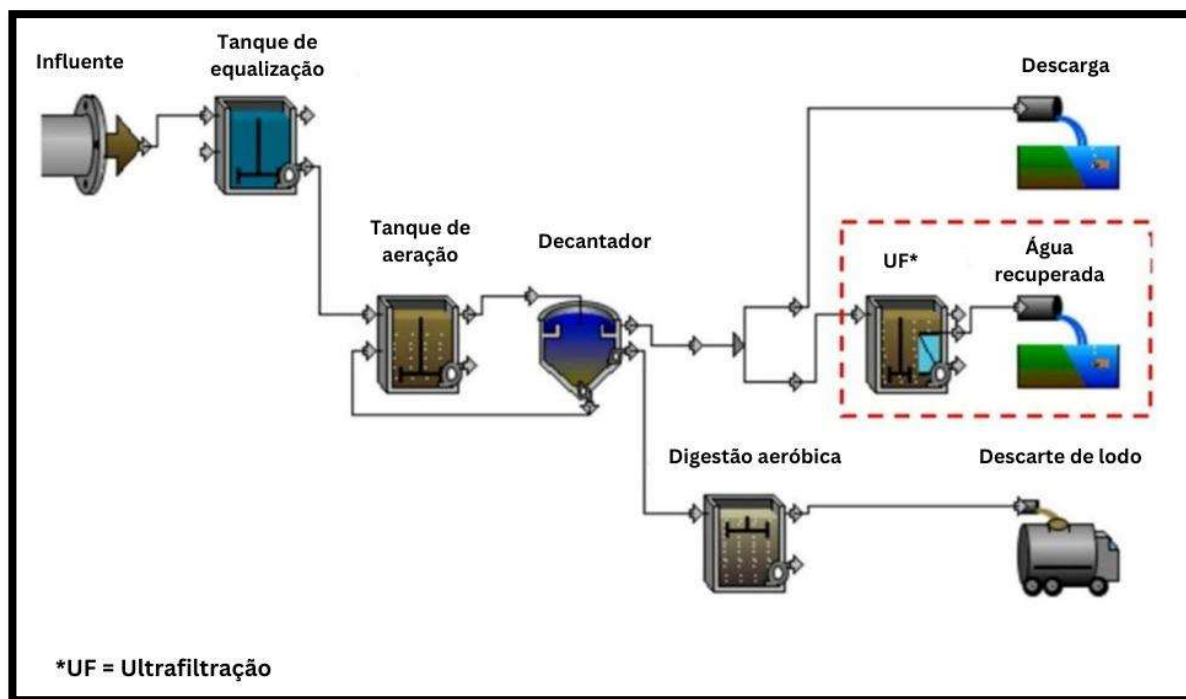


Fonte: Adaptado de Trecossi *et al.* (2023).

É necessário frisar ainda que a granulometria e a altura do leito influenciam no volume de água utilizado na lavagem, sendo as partículas de grãos menores, com menor altura de leito, 0,93 mm e 10 cm, respectivamente, consumiram menor volume (Trecossi *et al.*, 2023).

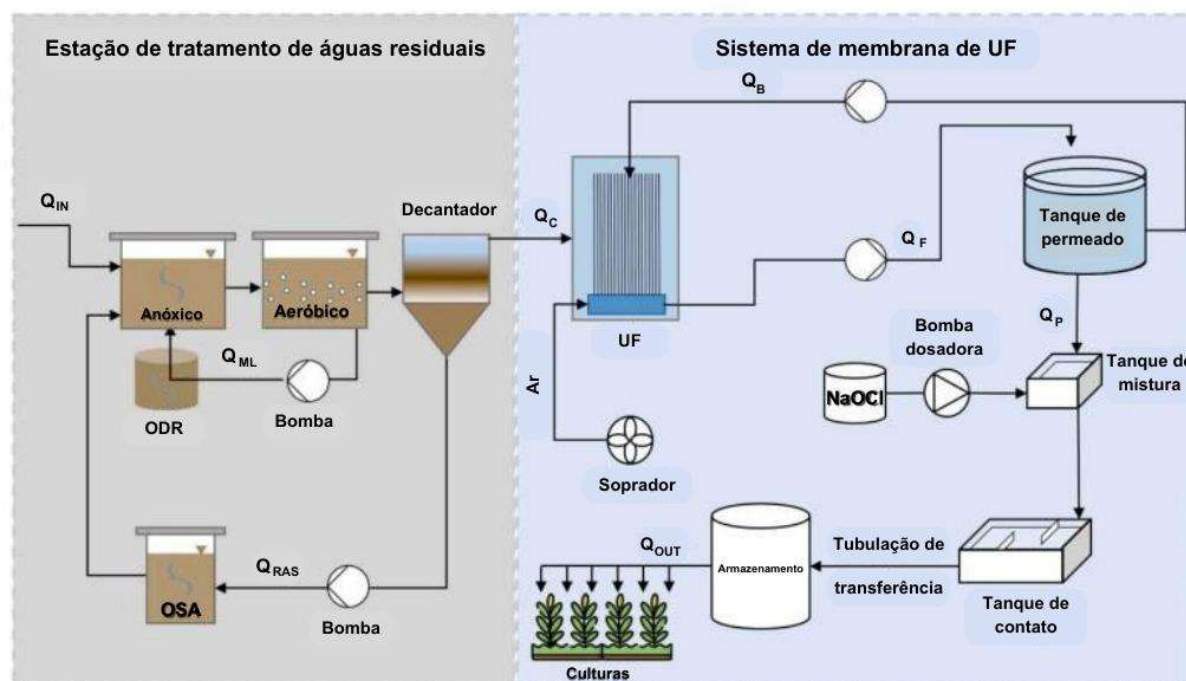
Mannina *et al.* (2025) destacaram que na União Europeia os parâmetros de qualidade das águas residuárias estão cada vez mais rigorosos e desafiadores. Em virtude disso, os processos avançados de tratamento baseados em membranas combinados com modelos matemáticos podem ser uma boa solução para enfrentar esses desafios. Nessa perspectiva, realizaram uma comparação em Corleone, na Itália, usando análise de sensibilidade, incerteza e calibração em dois estudos de caso entre dois novos modelos mecanísticos de ultrafiltração: um módulo GPS-X personalizado (Modelo 1) e um modelo matemático feito sob medida (Modelo 2). A Figura 27 mostra a configuração da ETE no primeiro estudo de caso, enquanto a Figura 28 descreve o *layout* para o segundo estudo de caso.

Figura 27 - Layout da ETE Corleone no GPS- X



Fonte: Adaptado de Mannina *et al.* (2025).

Figura 28 - Layout do sistema Piloto e membrana UF para recuperação da água



Legenda: ODR – Reator de esgotamento de oxigênio; OSA - óxido-sedimentação-anaeróbica; Q: Vazão, UF- Ultrafiltração,

Fonte: Adaptado de Mannina *et al.* (2025).

Os resultados mostraram uma maior capacidade do Modelo 2 para simular incrustações de membrana e qualidade da água. O Modelo 1 falhou em prever a pressão transmembrana e mostrou um tempo de simulação mais longo. Ambos os

modelos forneceram incerteza aceitável na previsão das concentrações de permeado e forte capacidade de previsão de DQO e nitrogênio total. Em síntese, o Modelo 2 é mais confiável para facilitar a ultrafiltração para tratamento avançado, de tal forma que aplicações futuras dele poderão ser realizadas em outras plantas em escala real, visando melhor interpretar a robustez de suas previsões. (Mannina *et al.*, 2025).

Também foi possível constatar abordagens inovadoras cujas práticas de reúso estão associadas à recuperação de petróleo, ao sequestro de carbono, à produção de hidrogênio e às energias renováveis. Portanto, essas abordagens estão alinhadas com a agenda 2030 e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente com o ODS 6 – assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, o ODS 7 – energia acessível e limpa e com o ODS 12 – consumo e produção responsáveis.

Nesse viés, foi avaliada a viabilidade do reúso de água produzida no Novo México, investigando as opções de reúso sob a ótica de políticas e impactos ambientais. Foi abordada a reutilização de água para recuperação avançada de petróleo, visto que o volume excedente habitualmente é destinado à recarga de aquíferos. Outra aplicação relevante foi o sequestro de carbono por meio da injeção de água carbonatada, tendo em vista que através desse processo, o CO₂ é adicionado à água recuperada antes de ser reinjetado no subsolo (Cull-Host *et al.*, 2025).

Em um estudo tecnológico realizado na Cidade de Shahriar, no Irã, através de modelagem hidráulica e análise de sistema de informação geográfica, um tanque cilíndrico de aço de 50 m³ foi projetado para fornecer água potável em emergências, integrando bombas alimentadas por energia solar e válvulas de fechamento avançadas para aumentar a resiliência e a sustentabilidade. Para usos não potáveis, como irrigação e combate a incêndios, águas residuais tratadas foram utilizadas de forma eficaz, com o apoio de uma estação de bombeamento e rede de distribuição sob medida (Shamsaeifar *et al.*, 2025).

Outra oportunidade vantajosa elencada foi a utilização de águas residuais tratadas para a produção de hidrogênio, pois pode desempenhar um papel duplo, tanto no auxílio ao uso de energias renováveis, como eólica e solar, quanto na utilização de energia solar fotovoltaica para reutilização benéfica. Dessa forma, as principais conclusões incluem a adequação da produção de hidrogênio e da extração

de minerais, sujeitas a estratégias de tratamento direcionadas e ajustes regulatórios contínuos (Cull-Host *et al.*, 2025).

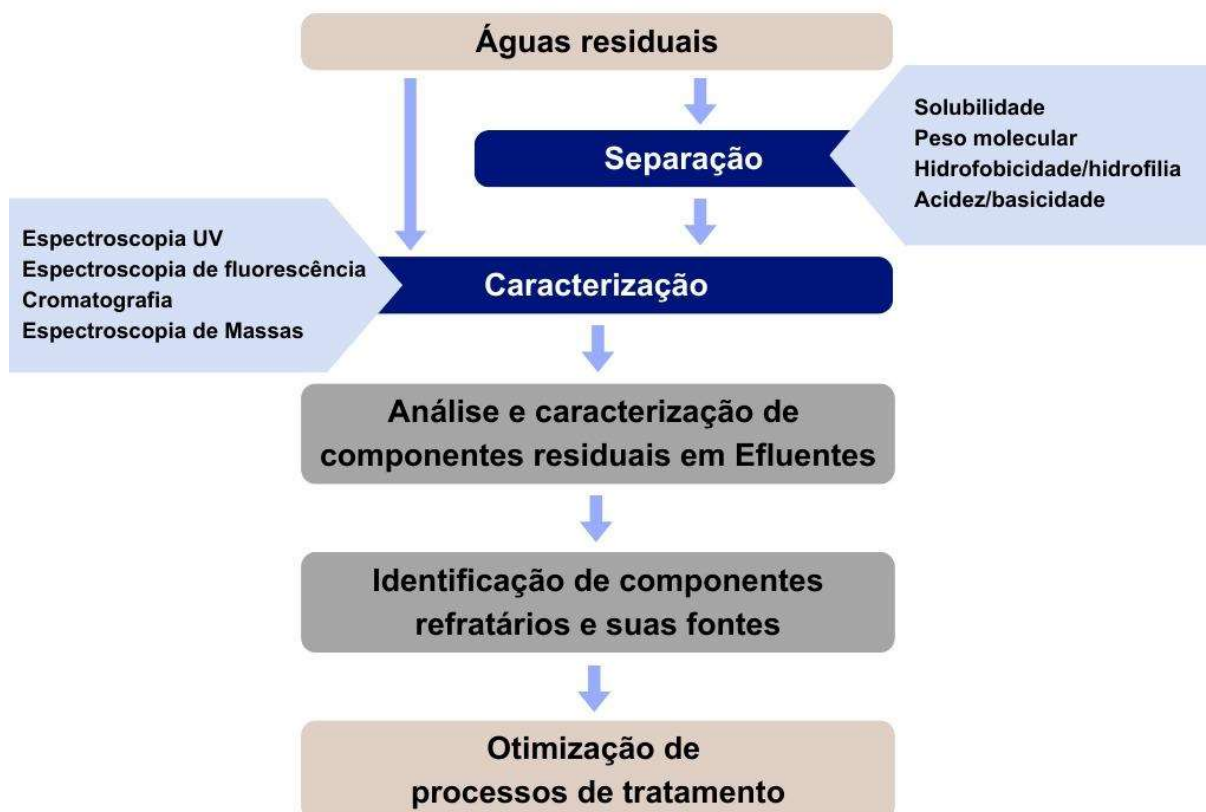
Dessa forma, evidenciou-se a importância de estratégias integradas de gestão hídrica, incluindo sistemas de energia solar e reúso de águas residuais tratadas, para aumentar a resiliência contra desastres naturais. Os projetos propostos garantem o abastecimento sustentável de água e a gestão eficaz de crises para consumo humano e não potável, sobretudo em áreas urbanas de alto risco (Shamsaeifar *et al.*, 2025).

É importante salientar que o estado do Ceará é um polo de desenvolvimento de hidrogênio verde (H2V) com forte potencial devido ao sol, vento e localização geográfica. Além do mais, desde 2021 existe inclusive um HUB de Hidrogênio Verde no Complexo do Pecém/CE, que atua no desenvolvimento de projetos sustentáveis com grande impacto econômico e social (CEARÁ, 2024). Assim, a possibilidade de aplicação do reúso de água associada à produção de hidrogênio é uma tecnologia importante e estratégica em ascensão.

No que se refere à análise de qualidade da água, além da tradicional avaliação de DBO e DQO, uma nova metodologia é feita por meio de um sistema de avaliação multidimensional que abrange quatro indicadores primários: concentração quantitativa, características composicionais, potencial de transformação e efeitos toxicológicos. Essa metodologia visa atender às demandas de tratamento de águas residuais de alto padrão e reúso de água (Chen *et al.* 2025).

Para tanto, de acordo com características como peso molecular, biodegradabilidade e hidrofiliabilidade dos poluentes presentes nas águas residuais, diferentes tecnologias de tratamento são selecionadas. Portanto, é possível avaliar a tratabilidade e os riscos potenciais investigando as características da composição das águas residuais, selecionando assim a tecnologia de tratamento ideal (Chen *et al.*, 2025). A Figura 29 esquematiza a identificação de componentes refratários em águas residuárias.

Figura 29 - Componentes refratários em águas residuárias



Fonte: Adaptado de Chen *et al.* (2025).

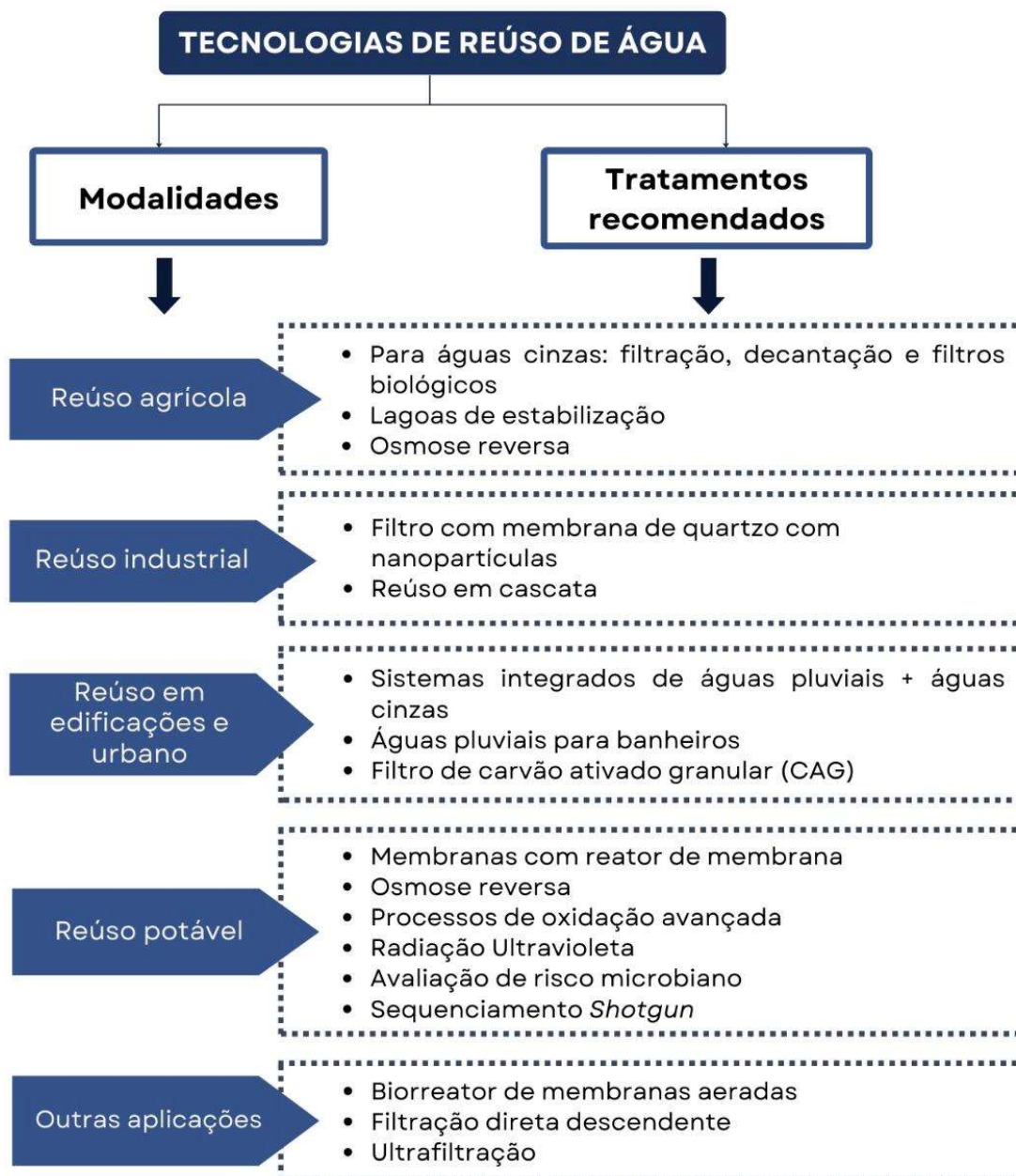
Não obstante, além da previsão e seleção de tecnologias adequadas de tratamento de água, a análise das características da água pode fornecer uma avaliação objetiva e abrangente do estado operacional do tratamento existente e identificar os problemas atuais com suas causas, proporcionando melhorias científicas e viáveis para aumentar a eficácia do tratamento de águas residuais (Chen *et al.*, 2025).

Outrossim, as pesquisas desenvolvidas por Ferri e Bolelli (2025) versaram sobre os desafios do reúso de água, considerando procedimentos relacionados tanto em escala laboratorial quanto em escala real. Conforme sua origem e seu uso previsto, cada água residual precisa de um tratamento específico, uma infinidade de materiais novos ou aprimorados, combinações de diferentes tratamentos e análises de verificação são continuamente desenvolvidos e testados em escala laboratorial. Por outro lado, em relação aos testes em escala real, ainda existe uma carência relevante, muito em função da complexidade química, grande variedade de diferentes tipos de água a serem remediados, dentre outros problemas tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais.

Desse modo, as orientações obtidas pela experiência e pela literatura foram priorizar procedimentos híbridos e multietapas para obter água de alta qualidade, além de incentivar sistemas descentralizados domésticos, muito promissores no contexto da economia circular, para evitar perdas de água ou criar fontes de água (Ferri; Bolelli, 2025).

Diante dos resultados expostos, foi possível sistematizar as tecnologias de reúso de água em alta e emergentes conforme a bibliografia mais recente. Nesse sentido, recomendou-se as possibilidades de tratamento para cada modalidade de reúso de água pretendido, através de um fluxograma ilustrado pela Figura 30.

Figura 30 - Tecnologias de reúso de água em alta



Fonte: Autoria própria, 2025.

7.2 TECNOLOGIAS NA LITERATURA PATENTÁRIA

7.2.1 Patentes de reúso de água no cenário global

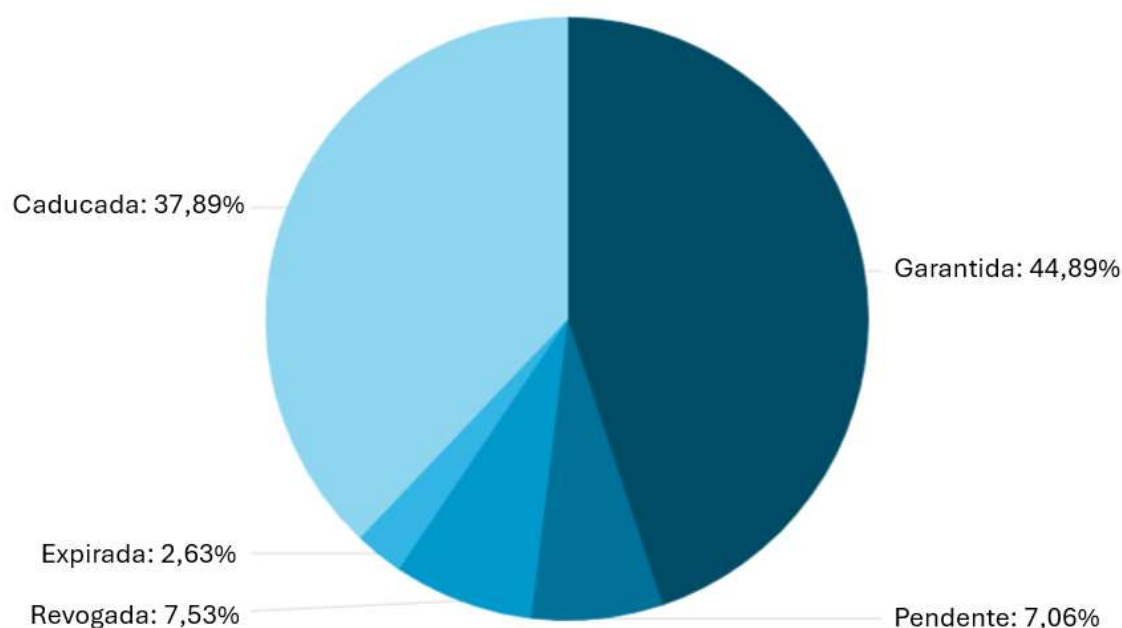
As pesquisas sobre as famílias de patentes realizadas no *Orbit Intelligence* (Questel, 2025), respeitando os critérios e etapas metodológicas descritos, resultaram em um total de 24.783 patentes sobre reuso de água, das quais 12.875 (51,95%) estão vivas e 11.908 (48,05%) estão mortas. É importante esclarecer que o *status* de viva compreende as patentes garantidas ou pendentes, enquanto o *status* de morta contempla as patentes caducadas, revogadas ou expiradas.

A patente está garantida quando o pedido de patente foi concedido e as taxas de manutenção estão sendo pagas em dia. Por outro lado, quando o pedido está atualmente em processamento, mas a patente ainda não foi concedida, a patente está com o *status* de pendente. Acerca do *status* de morta, a patente foi revogada se o pedido tiver sido revogado por decisão de um órgão competente. Caso a aplicação tenha chegado ao fim do seu período de proteção, vinte anos para patente de invenção ou quinze anos para modelo de utilidade, a patente está expirada. Por fim, o *status* caducado ocorre nos casos em que o pedido de patente não tiver taxas de manutenção pagas ou for considerado como retirado (Questel, 2024).

Assim, analisando de uma forma mais detalhada, foi possível entender que das patentes em vigor, 11.125 (86,41%) estão garantidas e 1.750 (13,59%) estão pendentes. Em contrapartida, das patentes inválidas, 9.390 (78,85%) estão caducadas, 653 (5,48%) estão expiradas e 1.865 (15,67%) foram revogadas.

A Figura 31 mostra as parcelas representativas de cada condição em relação ao número total de patentes.

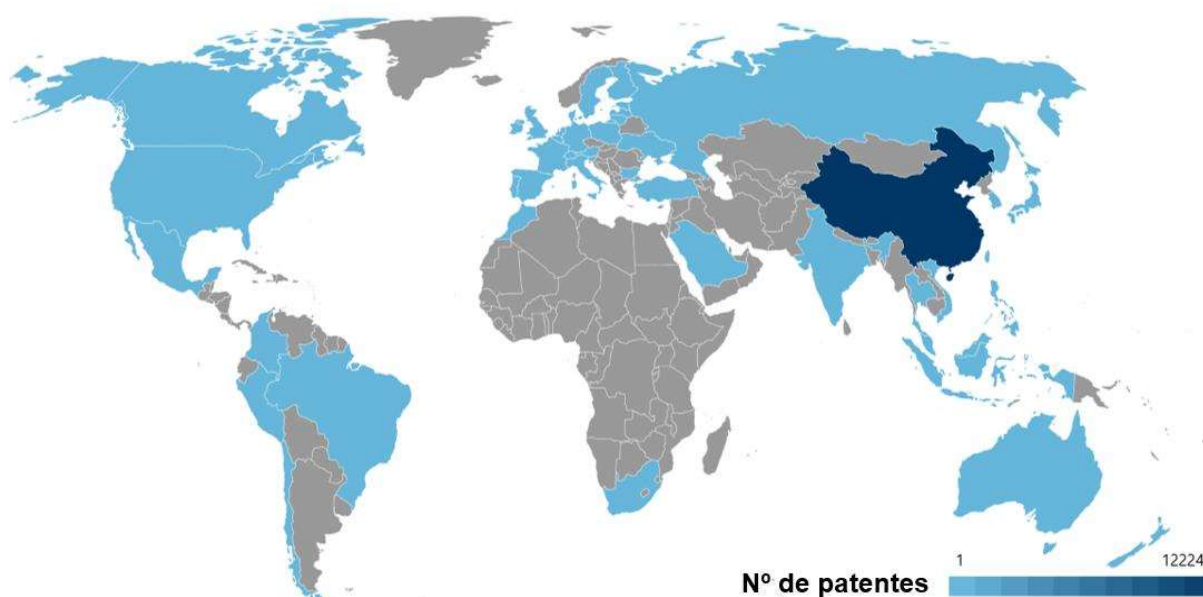
Figura 31 - Patentes por status legal



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Em seguida, para priorizar as patentes que atualmente encontram-se válidas, foi aplicado o filtro de *status* legal, restringindo o escopo de estudo para as 12.875 patentes vivas. Nesse contexto, visando compreender a distribuição no cenário mundial, buscou-se visualizar em quais países essas patentes sobre reuso de água estavam sendo protegidas e, para isso, foi feita uma análise dos vinte países que tiveram mais patentes protegidas em seus territórios. A Figura 32 mostra o panorama de proteção das patentes de acordo com os países.

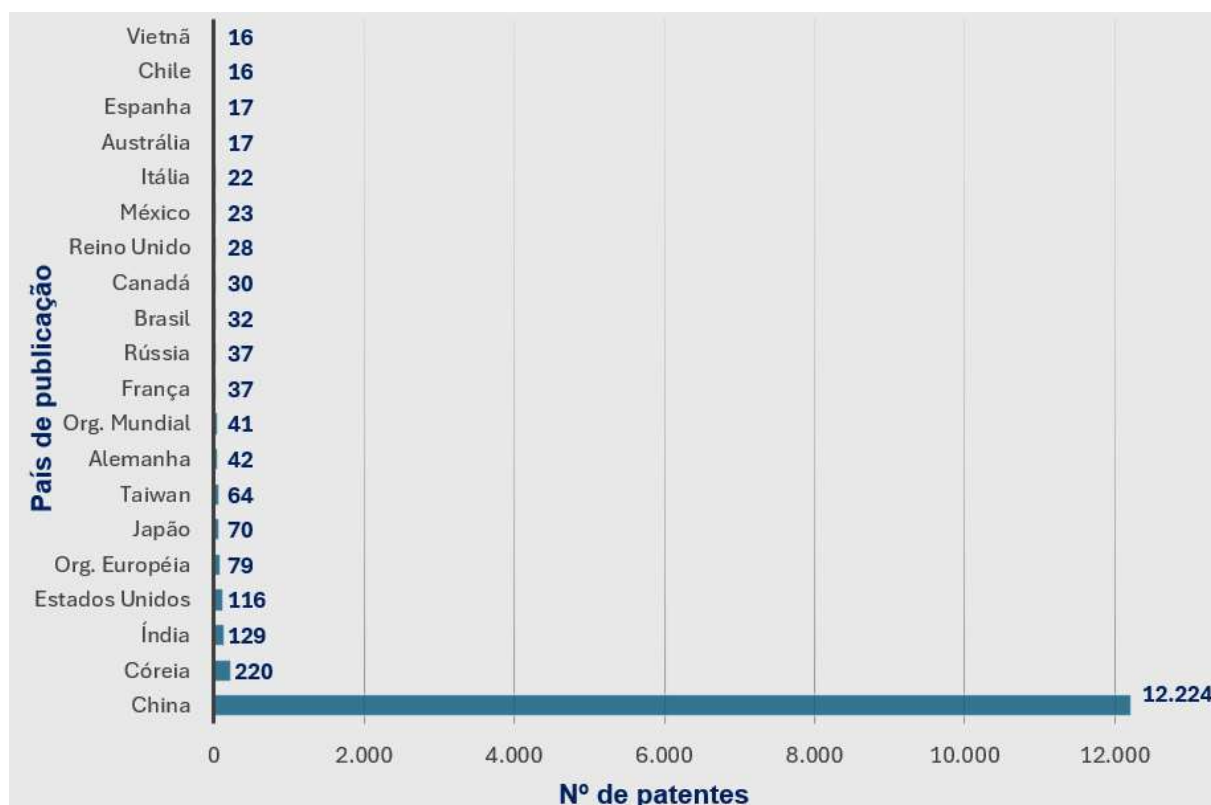
Figura 32 - Distribuição de patentes por países protegidos



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Os três países que se destacaram com mais depósitos foram respectivamente: China, com 12.224 patentes; Coreia, com 220 patentes e a Índia, com 129 patentes. Portanto, diante de tamanha discrepância de valores, é nítida a hegemonia da China no contexto global. O Brasil, por sua vez, ocupa a décima segunda posição com apenas trinta e duas patentes protegidas. A Figura 33 descreve o número de patentes por países protegidos, completando o exposto na Figura 32.

Figura 33 - Número de patentes protegidos por países

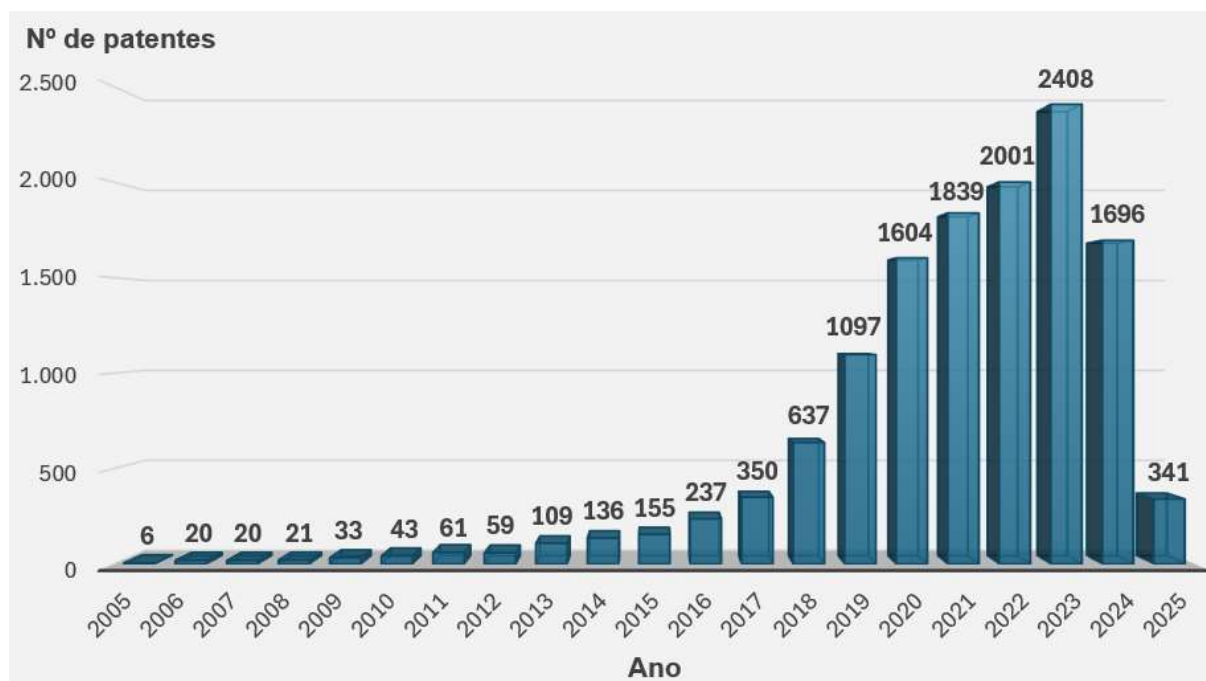


Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel), 2025.

No que se refere à variação temporal, foi analisado o comportamento ao longo dos últimos vinte anos e ficou evidente que o tema ganhou força com o passar do tempo, especialmente ao longo da última década. Foi possível observar que antes do ano de 2006 apenas oito depósitos foram feitos. Entre 2006 e 2010 houve um aumento, totalizando cento e trinta e sete patentes. Seguindo um padrão semelhante de crescimento, de 2011 a 2015 foram registrados quinhentos e vinte depósitos. A situação entre 2016 e 2020, mostrou uma evolução bem maior, totalizando três mil novecentos e vinte e cinco patentes. Finalmente, de 2020 a 2025 foram depositadas oito mil duzentas e oitenta e cinco patentes, mostrando a relevância e atualidade do reúso de água.

A Figura 34 mostra a evolução das patentes no mundo nas duas últimas décadas.

Figura 34 - Evolução no número de patentes por ano



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel), 2025.

De acordo com a evolução histórica das patentes foi observado um aumento expressivo entre os anos de 2019 e 2023. Ao analisar a conjuntura mundial nesse período, esse aumento pode ter relação com o cenário vivenciado de crise sanitária da pandemia do vírus Sars-Cov-2 (Covid-19) e com o desenvolvimento das atividades da agenda 2030. Além disso, foi constatado um declínio expressivo nos anos de 2024 e 2025, fato que sugere um avanço do nível de maturidade tecnológica das patentes já depositadas e, por conseguinte, uma elevação das chances de exploração comercial e ingresso dessas tecnologias no mercado.

Outro tópico importante foi saber quais foram os temas mais frequentemente abordados pelas patentes de reúso de água. Nessa ótica, foi realizada uma triagem através dos códigos da Classificação Internacional de Patentes (IPC, do inglês *International Patent Classification*), selecionando os dez códigos IPC mais citados nas patentes. O Quadro 4 sistematiza a relação dos dez códigos mais citados e o que eles significam.

Quadro 4 - Dez códigos IPC mais citados

10 CÓDIGOS IPC MAIS CITADOS PELAS FAMÍLIAS DE PATENTES			
CÓDIGO IPC	DESCRIÇÃO	Nº CITAÇÕES	%
C02F-001/00	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto.	1.168	16,03%
C02F-001/44	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por diálise, osmose ou osmose reversa.	1.075	14,75%
C02F-009/04	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico.	980	13,45%
C02F-009/14	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento biológico.	929	12,75%
C02F-009/00	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto.	848	11,64%
C02F-001/52	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão.	813	11,16%
C02F-001/28	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por sorção (usando troca iônica C02F 1/42; composições sorventes B01J).	574	7,88%
C02F-009/02	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação.	462	6,34%
B01D-029/03	Filtros com elementos filtrantes estacionários durante a filtração, por exemplo, filtros de pressão ou de sucção, não abrangidos pelos grupos B01D 24/00-B01D 27/00; Elementos filtrantes para os mesmos autoportantes.	236	3,24%
B01D-036/04	Circuitos de filtro ou combinações de filtros com outros dispositivos de separação (dispositivos para remoção de gás, por exemplo, sistemas de purga de ar B01D 35/01; separadores magnéticos ou eletrostáticos combinados com filtros B03C). Combinações de filtros com tanques de decantação.	202	2,76%

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel), 2025.

Os dados sistematizados revelaram que os temas: tratamento de água, águas residuais ou esgoto; tratamento de água, águas residuais ou esgoto por diálise, osmose ou osmose reversa; tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão e tratamento de água, águas residuais ou esgoto por sorção somaram juntos 3.630 citações, correspondendo a 49,82% do total, caracterizando-se como a principal categoria temática das patentes.

Não obstante, os temas: tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento biológico e tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de

separação totalizaram 3.219 citações, equivalente a 44,18% do total, sendo também uma categoria temática relevante e recorrente.

Em uma menor faixa de representatividade, estão os temas: filtros com elementos filtrantes estacionários durante a filtração, incluindo elementos filtrantes autoportantes e circuitos de filtro ou combinações de filtros com outros dispositivos de separação, com combinações de filtros com tanques de decantação. Esses tiveram apenas 438 citações, que compõem 6,00% do total.

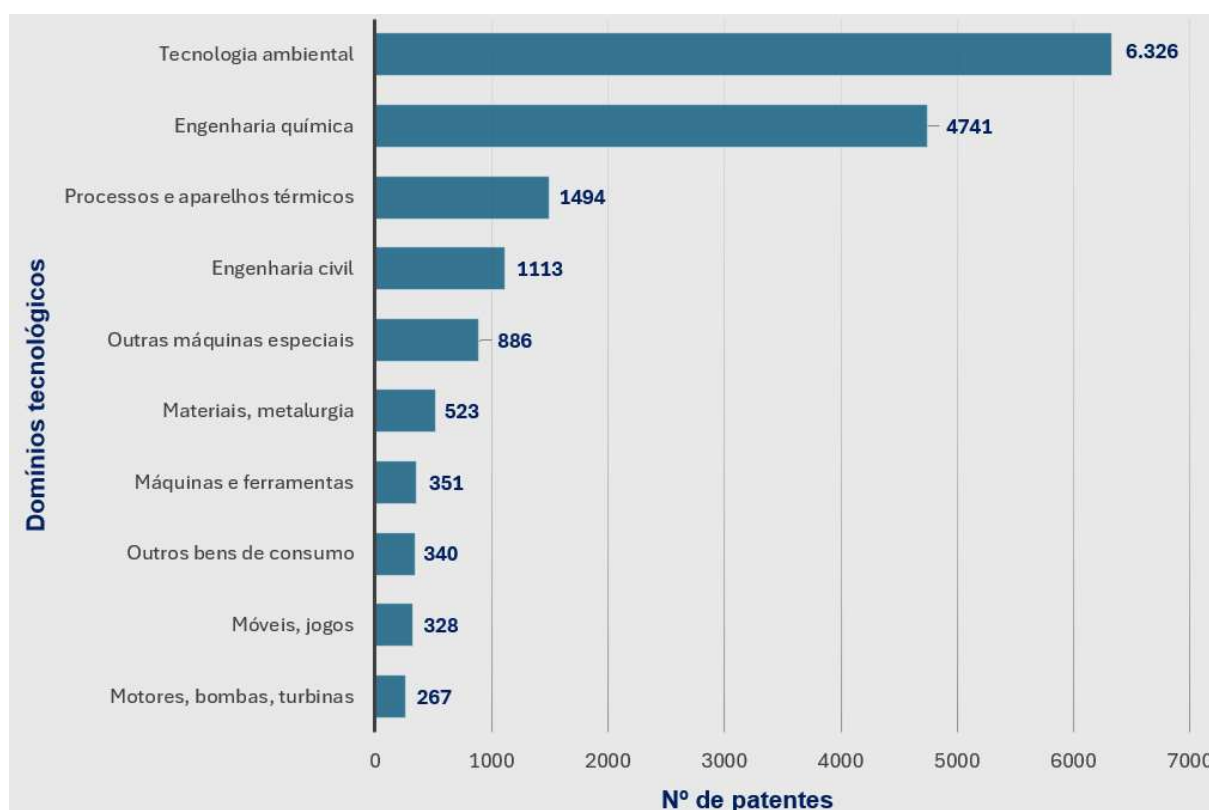
Diante do exposto, compreende-se que o desenvolvimento de tecnologias para o reúso de água está vinculado ao tratamento de água, águas residuais (esgoto) por métodos físicos, químicos e biológicos.

Além disso, foi possível mapear as patentes por domínio tecnológico, selecionando as dez áreas tecnológicas predominantes. A área “Tecnologia ambiental” foi a mais abordada, estando presente em 6.326 patentes. Na sequência, vieram as áreas de “Engenharia química” com 4.741, “Processos e aparelhos térmicos” com 1.494, “Engenharia civil” com 1.113 e “Outras máquinas especiais” com 886.

Em menor expressividade, tem-se os domínios de “Materiais e metalurgia”; “Máquinas e ferramentas”; “Outros bens de consumo” e “Móveis e jogos”, com 523, 351, 340 e 328 patentes, respectivamente. Por último, a área de “Motores, bombas e turbinas” tiveram 267 patentes depositadas.

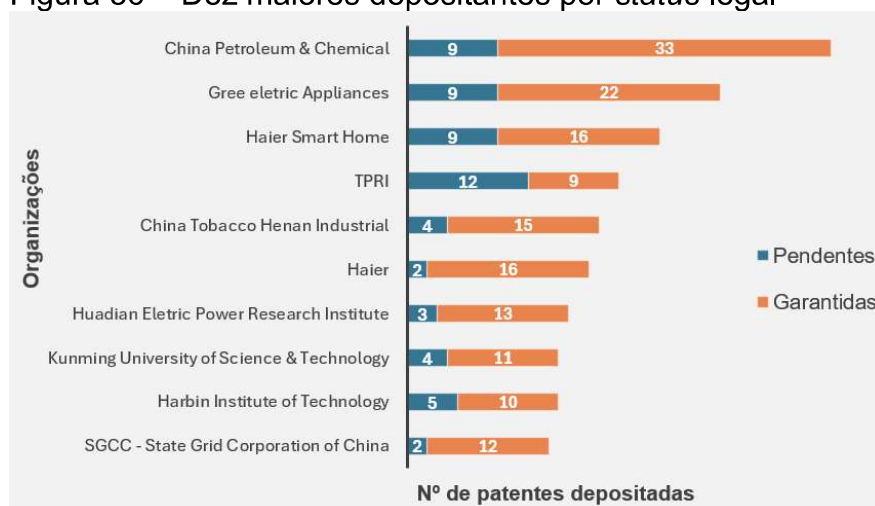
A Figura 35 retrata as dez áreas tecnológicas que predominaram nas patentes estudadas.

Figura 35 - Patentes por domínio tecnológico



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Outrossim, buscou-se identificar quais foram as organizações que mais depositaram patentes sobre a temática em questão, caracterizando-se potencialmente como detentoras de tecnologias relevantes, que podem ser transferidas através de licenciamentos e cessões ou ainda podem ser disponibilizadas ao entrarem em domínio público. Diante disso, foi feita uma seleção das dez organizações que mais depositaram patentes vivas. A Figura 36 demonstra esse ranking de depositantes.

Figura 36 – Dez maiores depositantes por *status* legal

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Nesse âmbito, a empresa *China Petroleum & Chemical* liderou o ranking, com trinta e três patentes garantidas e nove pendentes. Em segundo lugar vem a *Gree Electric Appliances*, que depositou vinte e duas patentes garantidas e nove pendentes. Na terceira posição está a *Haier Smart Home*, com dezesseis patentes garantidas e nove patentes pendentes. Em relação às outras sete organizações, o número de patentes depositadas é bem semelhante, variando de nove garantidas e doze pendentes pela empresa *TPRI*, quarta colocada, a doze garantidas e duas pendentes pela empresa *SGCC- State Grid Corporation*, décima colocada.

Ademais, visando identificar patentes que se destacam no cenário estudado, também foi verificado a situação dos documentos em relação aos litígios, oposições e licenciamentos, tendo em vista que são indicadores de qualidade e potencial das tecnologias protegidas, inclusive na perspectiva de concorrentes no mercado. Assim, foi possível identificar um caso de litígio, quarenta e seis de oposições e um de licenciamento.

A situação de litígio aconteceu para a patente intitulada “Método e sistema para descarte de águas residuais de furfural e método e sistema para produção de furfural”, com primeira publicação nos Estados Unidos em sete de junho do ano dois mil e seis sob o registro US8764947. O furfural é um composto orgânico derivado de biomassa, com a fórmula C_4H_3OCHO , obtido pela hidrólise e desidratação de açúcares de cinco carbonos (pentoses) presentes em materiais agrícolas como bagaço de cana-de-açúcar e sabugos de milho, possuindo valor industrial e comercial. O litígio aconteceu com a patente chinesa CN100352776C, “Método e sistema para tratamento de águas residuais da produção de furfural e método e sistema para produção de furfural”, por contestação de autoria de invenção.

Por sua vez, o caso de licenciamento identificado aconteceu para a mesma patente, US8764947. É importante destacar ainda que essas tecnologias protegidas estão próximas a entrarem em domínio público, uma vez que o prazo de vinte anos de validade termina em 2026.

Em relação aos quarenta e seis casos de oposições de patentes, a grande maioria está relacionada a patentes chinesas, de modo que quarenta e uma patentes tiveram oposições. Receberam ainda oposições três patentes coreanas e duas patentes na organização europeia. Esses dados indicam que esses documentos foram contestados por terceiros, sob a justificativa de não ter novidade ou atividade inventiva, ou ainda que os depositantes envolvidos não são os verdadeiros donos. É

mister compreender que as oposições geram procedimentos administrativos, visando a lisura das proteções das tecnologias, podendo a situação se agravar para a esfera judicial.

Quantitativamente, considerando o universo das doze mil oitocentas e setenta e cinco patentes vivas selecionadas, o número de oposições é risível, uma vez que quarentas e seis patentes representam apenas zero vírgula trinta e seis por cento do total. Em contrapartida, evidencia que noventa e nove vírgula sessenta e quatro por cento das patentes, ou seja, a absoluta maioria, apresentam legitimidade confirmada.

O Quadro 5 detalha os casos de oposição de patentes.

Quadro 5 - Casos de oposição de patentes

CONTINUA

CASOS DE OPOSIÇÃO DE PATENTES			
PATENTE	TÍTULO	APLICAÇÃO	PAÍS
CN1071991 26	<i>Phosphorite flotation wastewater recycling device and process thereof.</i>	20/04/2017	China
CN11454021 9	<i>Tail vegetable wastewater recycling microbial inoculum and application thereof in preparation of plant ferment.</i>	31/12/2021	China
KR10- 0727577	<i>Water recycling toilet sewage treatment system without water discharge.</i>	30/06/2006	Coréia
CN2208122 18	<i>Groove drum lubricating water recycling device of glass fiber drawing machine.</i>	28/09/2023	China
CN2159245 88	<i>White water recycling device for papermaking.</i>	02/08/2021	China
CN2100303 17	<i>Sewage treatment system.</i>	11/04/2019	China
CN1032321 43	<i>Ecologically combined device for treating ammonia-nitrogen sewage.</i>	28/05/2013	China
CN2169640 29	<i>Dust purification device for trial production of hot-rolled ribbed steel bars.</i>	29/11/2021	China
CN2151612 32	<i>Nanofiltration treatment device for wastewater reuse.</i>	31/05/2021	China
CN1082987 58	<i>Vanadium ore production wastewater recycling device and process thereof.</i>	27/04/2018	China
CN2070471 24	<i>System with sewage reuse function is by powder coal preparation light aromatics.</i>	03/07/2017	China
CN2109739 00	<i>Water-saving device for white carbon black production by precipitation method.</i>	29/11/2019	China
CN2186721 36	<i>UHT sterilization machine steam condensate recycling device.</i>	10/10/2022	China
CN2080725 74	<i>Circulating water system arranges sewage reuse device.</i>	13/04/2018	China

CN1030438 58	<i>Monosidum glutamate industrial wastewater recycling process and device.</i>	21/12/2012	China
CN1018573 31	<i>Coal chemical industry wastewater zero emission treatment method and system.</i>	10/06/2010	China
CN2219176 84	<i>Arsenic-containing wastewater recycling system.</i>	18/01/2024	China
CN2056763 13	<i>Purification treatment system that fountain sewage cycle utilized.</i>	22/03/2016	China
CN2199224 43	<i>Flue gas desulfurization absorption tower.</i>	25/05/2023	China
CN2134491 84	<i>Environmentally friendly ecological roof of sponge city.</i>	01/09/2020	China
KR10- 2284935	<i>ICT-based waterworks water quality management system that enables sample water recycling.</i>	14/12/2020	Coréia
CN11454022 0	<i>Fruit and vegetable wastewater recycling microbial inoculum and application thereof in preparation of plant ferment.</i>	31/12/2021	China
CN2055280 30	<i>Large -traffic nothing bucket reverse osmosis water purification machine system.</i>	25/12/2015	China
CN2215223 28	<i>Novel secondary RO filtered wastewater recycling device of water purifier.</i>	31/10/2023	China
CN2052227 61	<i>A ceramic membrane separation device for waste liquid loop filter.</i>	11/12/2015	China
CN2051344 21	<i>Waste water utilizing device in toilet.</i>	26/11/2015	China
CN2151024 96	<i>Limestone sand-making wastewater circulating treatment device.</i>	07/06/2021	China
CN2103404 54	<i>System for treating waste alkali generated by ethylene cracking by acid-base neutralization method.</i>	27/06/2019	China
KR10- 2138139	<i>Device for recycling a domestic sewage.</i>	20/02/2020	Coréia
CN2051344 50	<i>Waste water cyclic utilization device between shower.</i>	26/11/2015	China
CN2163207 65	<i>Waste gas purification device for sintering energy optimization.</i>	24/08/2021	China
CN2072945 11	<i>Domestic sewage recycling system.</i>	25/08/2017	China
CN2076083 46	<i>Contain ammonia and carbon dioxide wastewater recycling device.</i>	11/12/2017	China
CN11410873 6	<i>Large-scale pond is with desilting device.</i>	30/11/2021	China
CN1047755 00	<i>Building construction rainwater, waste water cyclic utilization system.</i>	13/04/2015	China
CN1031721 94	<i>Process for realizing manganese-containing wastewater recycling.</i>	23/12/2011	China

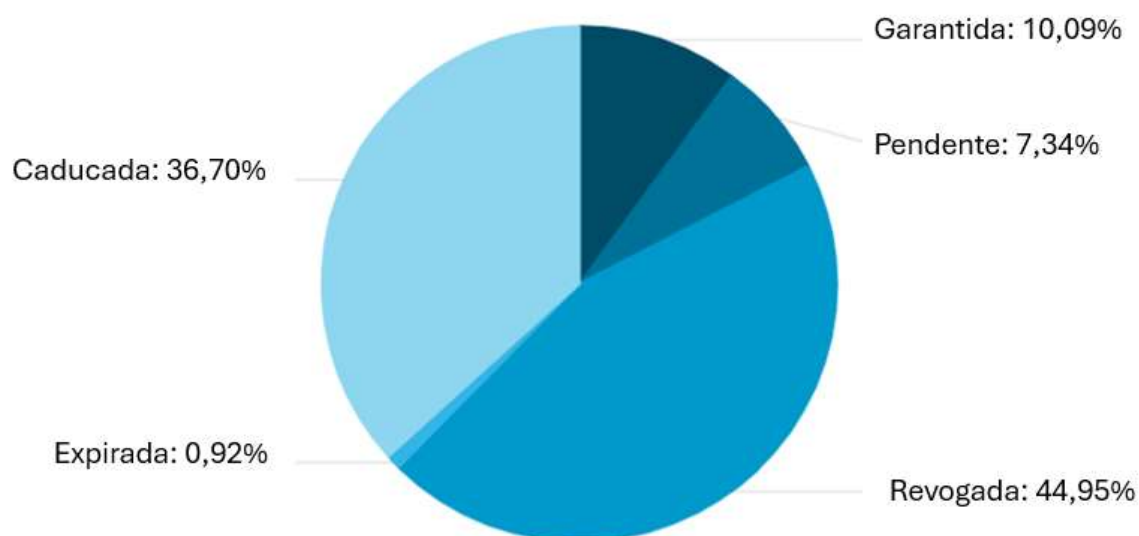
CN11314934 6	<i>Method for recycling semi-coke wastewater.</i>	01/04/2021	China
US10662504	<i>Method for recovering lithium from low-context extraction tailwater and recycling extraction tailwater.</i>	31/10/2016	EUA
CN2177460 89	<i>Sewage recovery device of sewage stripping tower for propylene production process.</i>	29/07/2022	China
CN1029765 42	<i>Wastewater recycling system in superfine fiber leather production.</i>	29/11/2012	China
EP1975297	<i>Condensation clothes dryer with recycling of condensate water to supply a steam generator and associated method.</i>	27/03/2007	Europa
CN2228341 29	<i>Lithium iron phosphate cleaning wastewater recovery treatment system.</i>	28/04/2024	China
CN2143274 23	<i>Wastewater purification clarification tank.</i>	16/08/2021	China
CN1056009 95	<i>High ammonia nitrogen wastewater recycling zero-emission treatment method and device based on membrane aeration and membrane absorption coupling process.</i>	09/03/2016	China
WO2017/03 2318	<i>Self-wastewater-treatment environmental gasifier.</i>	26/08/2015	Global
EP2072470	<i>Method of reutilizing wastewater.</i>	25/07/2007	Europa

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

7.2.2 Patentes de reúso de água no Brasil

As análises de famílias de patentes sobre reúso de água no Brasil, foram feitas com base na consulta inicial realizada para o cenário global, ou seja, as vinte e quatro mil setecentas e oitenta e três patentes totais existentes nos últimos vinte anos. Desse contingente, foram filtradas as patentes que foram publicadas no Brasil, retornando um total de cento e quarente e nove documentos, que representa apenas zero vírgula seis por cento do total.

Em seguida, refinou-se esse escopo para as patentes que tiveram o Brasil como o seu primeiro país de publicação e de prioridade, visto que isso evidencia um interesse maior em proteger as tecnologias no nosso território. Esse escopo, mantido para as etapas seguintes, resultou em cento e nove patentes, das quais dezenove (17,43%) encontram-se no estado de vivas e noventa (82,57%) estão no estado de mortas. Essa distribuição percentual difere consideravelmente do cenário mundial apresentado anteriormente, visto que no Brasil a minoria das patentes está viva. A Figura 37 mostra a distribuição percentual dessas patentes por *status* legal.

Figura 37 - Distribuição por *status* legal

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Do escopo das cento e nove patentes selecionadas, dezenove estão vivas, ou seja, garantidas ou pendentes. Desse total, doze patentes são de antes do ano de 2021 e sete patentes foram aplicadas nos últimos cinco anos (2021 a 2025) distribuindo-se da seguinte maneira: duas em 2021, duas em 2022, uma em 2023, duas em 2024 e nenhuma em 2025. O Quadro 6 esquematiza as dezenoves patentes com *status* legal de vivas.

Quadro 6 - Patentes com *status* legal de vivas.

PATENTES VIVAS NO BRASIL			
PUBLICAÇÃO	TÍTULO	APLICAÇÃO	STATUS
BR102021005885	Sistema de reaproveitamento de água de chuveiro em caixa de descarga acoplada.	26/03/2021	Garantida
BR102022012838	Sistema de reaproveitamento de água evaporada em processos em torres de refrigeração.	27/06/2022	Garantida
BRPI0802871	Equipamento e processo de reciclagem de água por floculação-flotação avançada e aparato de flotação.	01/07/2008	Garantida
BR102023016586	Sistema de reciclagem de água.	17/08/2023	Pendente
BR102014032306	Destilador de água compacto com eficiência máxima de reutilização de água.	22/12/2024	Garantida
BR102022012852	Dispositivo de reaproveitamento de água.	28/06/2022	Garantida
BRPI0823671	Método de reaproveitamento de água em lavadoras de roupas.	25/07/2008	Garantida
BR202021023125	Disposição construtiva para reaproveitamento hídrico contínuo em usinas hidrelétricas.	17/11/2021	Pendente
BR202019025628	Sistema de reutilização de água de reuso por meio de ultra filtração.	04/12/2019	Pendente
BR102015011701	Equipamento e processo para tratamento de resíduos sólidos.	21/05/2015	Garantida
BRPI0904561	Equipamento lavador de frutas com processo de reuso da água de lavagem.	19/11/2009	Garantida
WO2015/017907	Sistema de aplicação de produtos oxirredutores sob pressão, para tratamento de efluentes líquidos complexos, com finalidade de reuso da água.	08/08/2013	Garantida
BR102024002885	Processo de captura do vapor com reaproveitamento energético e reuso da água condensada.	15/02/2024	Pendente
BR202020011209	Kit para aproveitamento de água para reuso em caixas acopladas.	04/06/2020	Pendente
BR102019008118	Sistema de tratamento de efluente para viabilização da recirculação e/ou reuso de água.	22/04/2019	Pendente
BR102016002528	Processo de controle de lavadora de garrafas.	04/02/2016	Garantida
BR102024003133	Equipamento mecânico de viração de tripa bovina e processo de viração com aproveitamento de mucosa e reuso de água.	19/02/2024	Pendente
BR102014008516	Sistema integrado de recuperação de água limpa e de energia térmica de encanamentos de água aquecida.	09/04/2014	Garantida
US20080173582	Processo e aparelho para reutilização de efluentes líquidos gerados no processo de acabamento, lavagem, tingimento e estamparia têxtil.	22/01/2007	Pendente

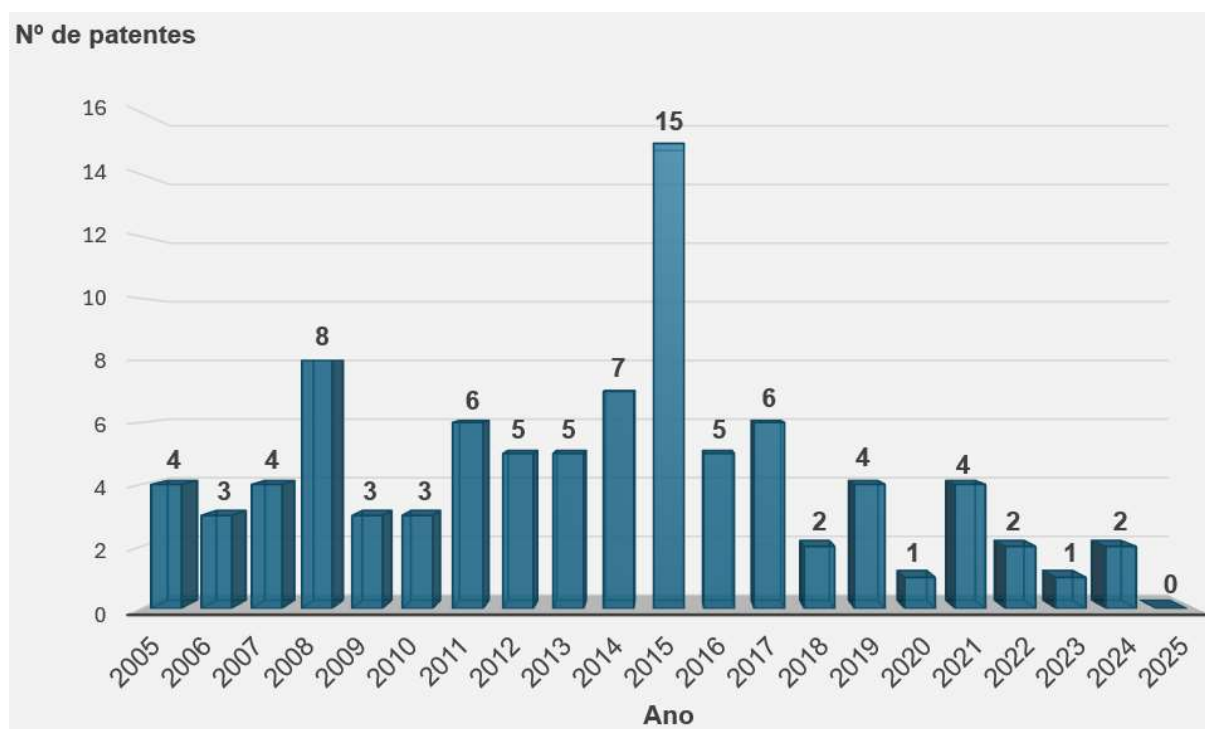
Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Para melhor compreensão da evolução temporal dos depósitos, foi analisado o comportamento ao longo dos últimos vinte anos, evidenciando que, apesar da

importância do tema, houve um declínio expressivo, especialmente ao longo da última década. Foi possível observar que, antes do ano de 2006, oito depósitos foram feitos. Entre 2006 e 2010 houve um leve aumento, totalizando vinte e uma patentes no período. O período compreendido entre os anos 2011 e 2015 registraram as maiores quantidades, com trinta e oito depósitos. A situação entre 2016 e 2020, mostrou uma redução considerável, considerando o depósito de dezoito patentes.

Finalmente, de 2020 a 2025 foram depositadas apenas nove patentes, sendo uma em 2020, quatro em 2021, duas em 2022, uma em 2023, duas em 2024 e nenhuma em 2025, demonstrando pouco avanço da temática reuso de água no período recente no país. A Figura 38 mostra a evolução dessas patentes no Brasil nas duas últimas décadas.

Figura 38 - Evolução das patentes por ano.



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Curiosamente, existiu um ápice de patentes no ano de 2015, que destoava bastante dos outros anos. Além do mais, diferentemente do panorama observado no cenário mundial, não houve um aumento considerável de patentes na época da pandemia da Covid-19.

Outro aspecto importante foi saber quais foram os temas mais frequentemente abordados pelas patentes de reuso de água no contexto brasileiro. Nesse cerne, foi realizada uma triagem através dos códigos IPC, selecionando os mais citados nas patentes, conforme explicado no Quadro 7.

Quadro 7 - Códigos IPC mais citados pelas patentes.

CÓDIGOS IPC MAIS CITADOS PELAS FAMÍLIAS DE PATENTES			
CÓDIGO IPC	DESCRIÇÃO	Nº CITAÇÕES	%
C02F-009/02	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação.	38	20,00%
C02F-009/00	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto.	38	20,00%
C02F-009/04	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico.	37	19,47%
C02F-001/00	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto.	36	18,95%
C02F-009/08	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo processo físico.	27	14,21%
C02F-001/52	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão.	11	5,79%
E03C-001/12	Instalações hidráulicas para águas residuais domésticas; Bacias ou fontes a elas ligadas.	2	1,05%
E03B-001/04	Métodos ou layout de instalações para abastecimento de água para abastecimento doméstico ou local similar.	1	0,53%

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

As informações sintetizadas revelaram que os temas: tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico; tratamento de água, águas residuais ou esgoto e tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo processo físico responderam juntos por noventa e dois vírgula sessenta e três por cento do total, com cento e setenta e seis citações. Destaca-se ainda um equilíbrio entre a recorrência desses cinco eixos temáticos.

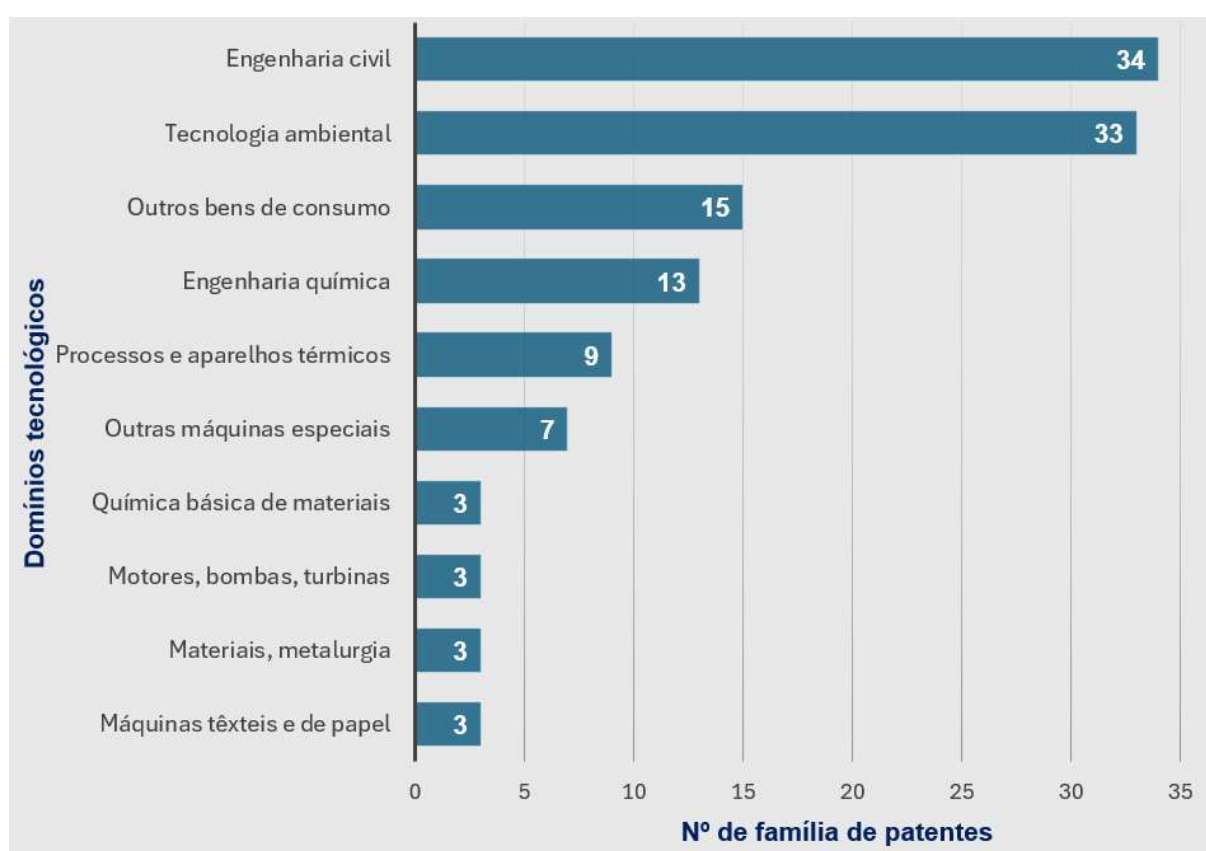
Outrossim, com menor frequência, o tema “Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão” teve onze citações (5,79%), o tema “Instalações hidráulicas para águas residuais domésticas/ Bacias ou fontes a elas ligadas” foi citado duas vezes (1,05%) e por último o tópico “Métodos ou layout de instalações para abastecimento de água para abastecimento doméstico ou local similar” teve apenas uma citação (0,53%).

Oportunamente, as patentes foram separadas por domínio tecnológico, selecionando as dez áreas tecnológicas predominantes. As áreas “Engenharia Civil”

e “Tecnologia Ambiental” destacaram-se como a maioria, estando presentes em trinta e quatro e trinta e três patentes, respectivamente. Na sequência, vieram as áreas de “Outros bens de consumo” com quinze, “Engenharia química” com treze, “Processos e aparelhos térmicos” com nove e “Outras máquinas especiais” com sete.

Em menor representatividade, estão os domínios “Química básica de materiais”, “Motores, bombas e turbinas”, “Materiais, metalurgia” e “Máquinas têxteis e de papel” com três patentes cada um. A Figura 39 retrata as dez áreas tecnológicas que predominaram nas patentes estudadas.

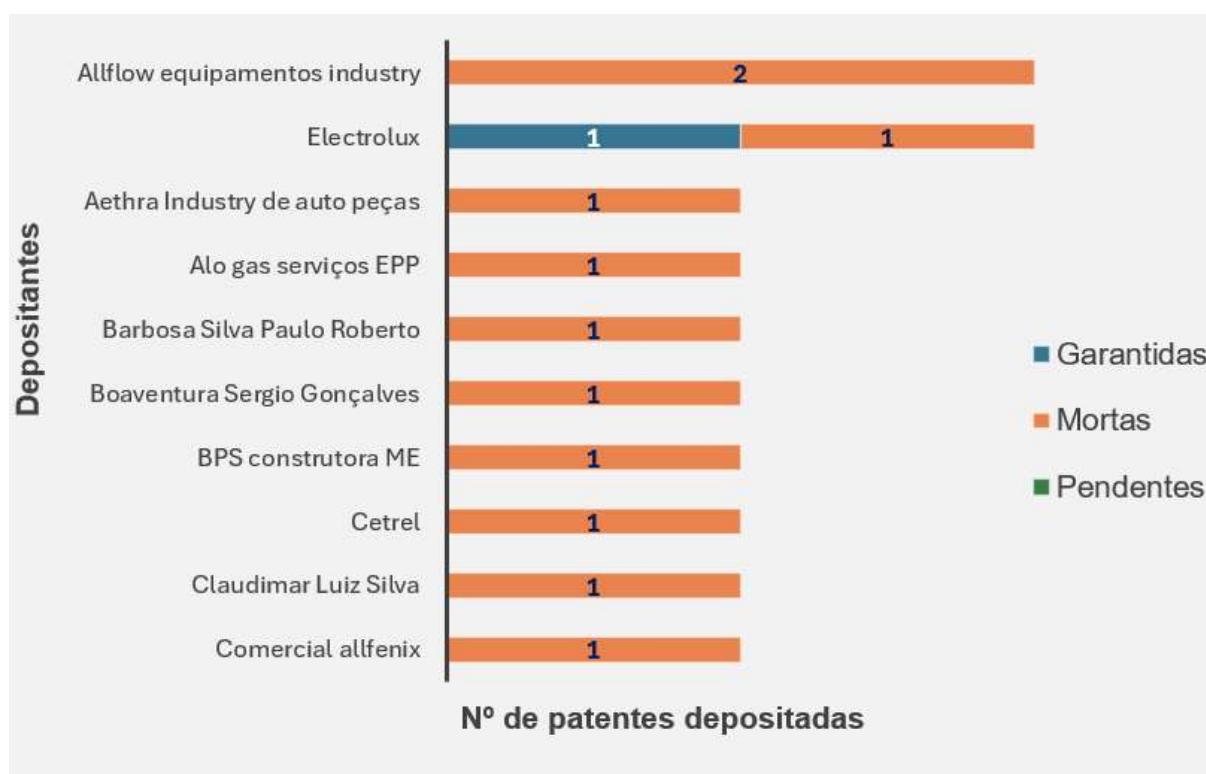
Figura 39 - Patentes por áreas tecnológicas



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Ademais, buscou-se identificar quais foram os depositantes, pessoa física ou jurídica, mais atuantes nas patentes em questão, caracterizando-se potencialmente como detentores de tecnologias relevantes, que podem ser transferidas através de licenciamentos e cessões ou ainda podem ser disponibilizadas ao entrarem em domínio público. Diante disso, foi feito um ranking dos dez maiores depositantes, conforme descrito na Figura 40.

Figura 40 - Dez maiores depositantes por status legal



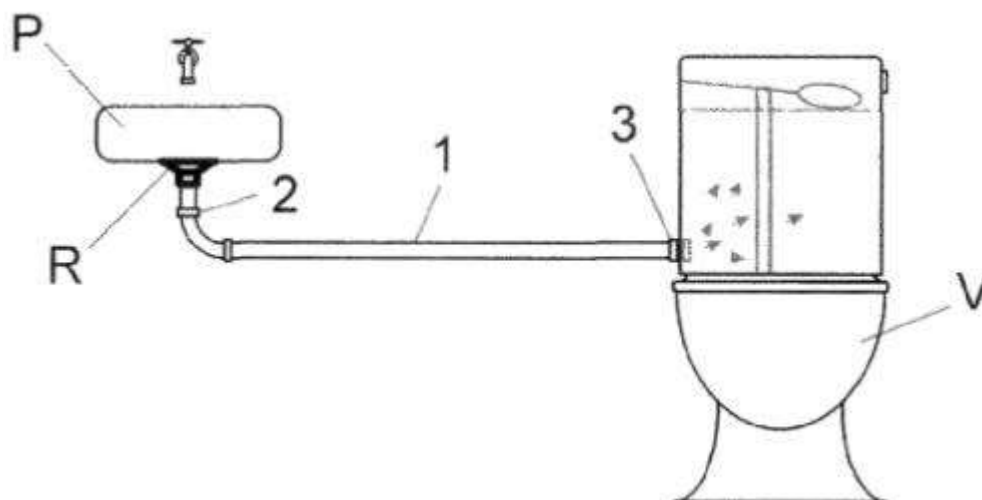
Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

A situação observada indica um grande equilíbrio entre os depositantes, não havendo nenhum destaque específico, seja por pessoa física seja por pessoa jurídica. Além do mais, é possível constatar uma quantidade muito baixa de depósitos, evidenciando uma conjuntura de abertura e demanda tecnológica na área de reuso de água.

Adicionalmente, também foi verificado a situação dos documentos em relação aos litígios, oposições e licenciamentos, tendo em vista que são indicadores de qualidade e potencial das tecnologias protegidas, inclusive no eixo mercadológico. Constatou-se que não existiu nenhum caso de litígio e nenhum licenciamento.

Contudo, foi registrado um caso de oposição para a patente brasileira BR 102015010300, cujo título é “Sistema de reuso de água, para descarga no vaso sanitário”, inventada e depositada por Claudio Antonio Negosseque, relativa ao código IPC E03C-001/12. Trata-se de uma patente de modelo de utilidade que propõe um sistema simples e direto de ligação da pia do lavabo ou do banheiro (P) à caixa acoplada de descarga no vaso sanitário (V), com reutilização da água da torneira da pia do lavabo que desce pelo ralo (R) do mesmo para a descarga no vaso sanitário, através de uma mangueira flexível (1) e conexões correlatas (2 e 3). A Figura 41 ilustra o esquema proposto reivindicado por essa patente.

Figura 41 - Sistema de reuso de água, para descarga no vaso sanitário



Fonte: Patente BR102015010300 (Negosseque, 2015).

É pertinente salientar ainda que essa patente foi registrada dia seis de maio de dois mil e quinze e está expirada desde doze de abril de dois mil e vinte e dois. Desse modo, sua tecnologia encontra-se livre para exploração e disponível para as partes interessadas em ofertá-la no mercado.

7.3 MATRIZ EMPRESARIAL RELACIONADA AO REÚSO DE ÁGUA

A apreciação dos itens da Classificação Nacional das Atividades Econômicas - CNAE (IBGE, 2022) resultou na seleção de sete subclasses capazes de caracterizar o desenvolvimento das atividades de reúso de água pelas empresas no Brasil: “atividades relacionadas a esgoto, exceto a gestão de redes”, “captação, tratamento e distribuição de água”, “construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, exceto obras de irrigação”, “atividades técnicas relacionadas à engenharia e arquitetura não especificadas anteriormente”, “fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios”, “testes e análises técnicas” e “gestão de redes de esgoto”.

É importante ressaltar que foram contempladas nessa seleção tanto empresas públicas quanto as privadas. Além disso, conforme o padrão da plataforma de dados DataSebrae painéis (SEBRAE, 2025), os dados foram organizados por estabelecimentos, que contemplam as matrizes e as respectivas filiais de cada empresa.

A partir da seleção estratégica dessas subclasses, os dados foram trabalhados inicialmente em um cenário nacional e posteriormente em uma abordagem mais específica para o contexto do estado do Ceará.

7.3.1 Panorama Nacional

As pesquisas realizadas utilizaram as sete subclasses de categoria CNAE selecionadas como filtro na plataforma DataSebrae Painéis (SEBRAE, 2025) e retornaram um total de vinte e duas mil duzentas e oitenta e uma empresas no Brasil, segundo a última data de atualização do dia 25 de outubro de 2025. Os dados foram organizados por estabelecimentos, que contemplam as matrizes e suas respectivas filiais. O Quadro 8 descreve a distribuição das empresas de acordo com subclasse CNAE relacionada.

Quadro 8 - Empresas segundo as atividades CNAE selecionadas no Brasil

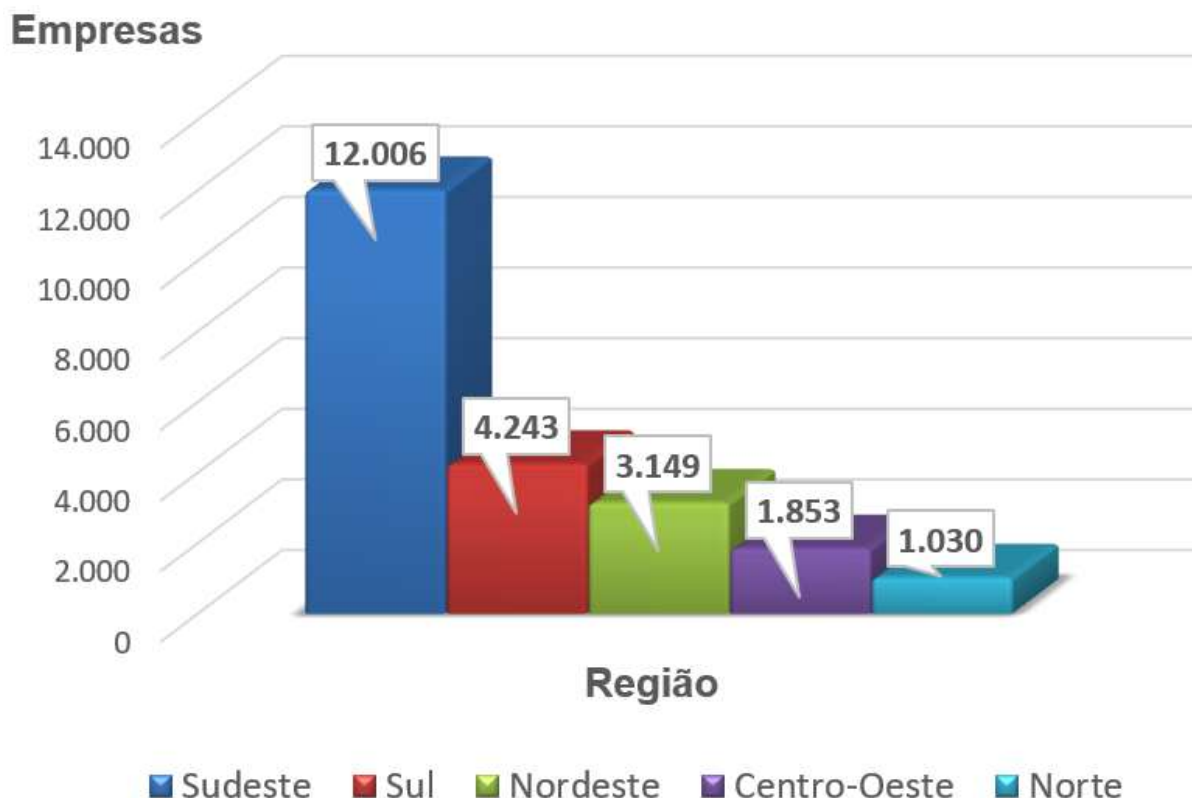
DISTRIBUIÇÃO DA MATRIZ EMPRESARIAL NO BRASIL POR CLASSIFICAÇÃO CNAE			
CÓDIGO CNAE	DESCRIÇÃO	EMPRESAS	%
37.02-9	Atividades relacionadas a esgoto, exceto a gestão de redes.	4.873	21,87%
71.19-7/99	Atividades técnicas relacionadas à engenharia e arquitetura não especificadas anteriormente.	4.167	18,70%
36.00-6/01	Captação, tratamento e distribuição de água.	2.568	11,53%
42.22-7/01	Construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, exceto obras de irrigação.	3.414	15,32%
28.25-9/00	Fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios.	494	2,22%
37.01-1	Gestão de redes de esgoto.	558	2,50%
71.20-1/00	Testes e análises técnicas.	6.207	27,86%
TOTAL DE EMPRESAS		22.281	

Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Ficou evidente uma predominância das empresas, quase metade do total, com atuação relacionadas ao esgoto e aos testes e análises técnicas. Tal situação confirma um padrão pressuposto, visto que a maioria das práticas de reúso aplica-se ao acondicionamento das águas residuárias, que exige também um monitoramento dos parâmetros de qualidade da água.

Outro aspecto relevante identificado foi a discrepância de existência de empresas com atividades relacionadas ao reúso de água entre as diferentes regiões do país, explicitada pela Figura 42.

Figura 42 - Total de empresas por região do país



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

A região Sudeste, com doze mil e seis unidades, responde por cinquenta e três vírgula oitenta e oito por cento das empresas. A região Nordeste, por sua vez, apresenta uma redução relevante, respondendo por quatorze vírgula treze por cento das empresas, com três mil cento e quarenta e nove registros. A desigualdade de distribuição regional atinge seu ápice ao analisarmos a região Norte, que possuindo apenas mil e trinta unidades, representa quatro vírgula sessenta e dois por cento do total do país. Essa realidade constatada acompanha a distribuição de desenvolvimento socioeconômico do país.

Em relação ao setor de atuação, o total de empresas se distribui nos setores de serviços, construção civil e indústria. O setor de serviços apresentou o maior número de empresas, com quinze mil oitocentos e cinco registros, representando setenta vírgula noventa e três por cento do total.

Na sequência, o setor de construção civil contemplou três mil quatrocentas e quatorze unidades, o que corresponde a quinze vírgula trinta e dois por cento. Finalmente, o setor da indústria apresentou três mil e sessenta e duas unidades, correspondendo a apenas treze vírgula setenta e quatro por cento do total. A Figura 43 ilustra a distribuição das empresas por setor de atuação.

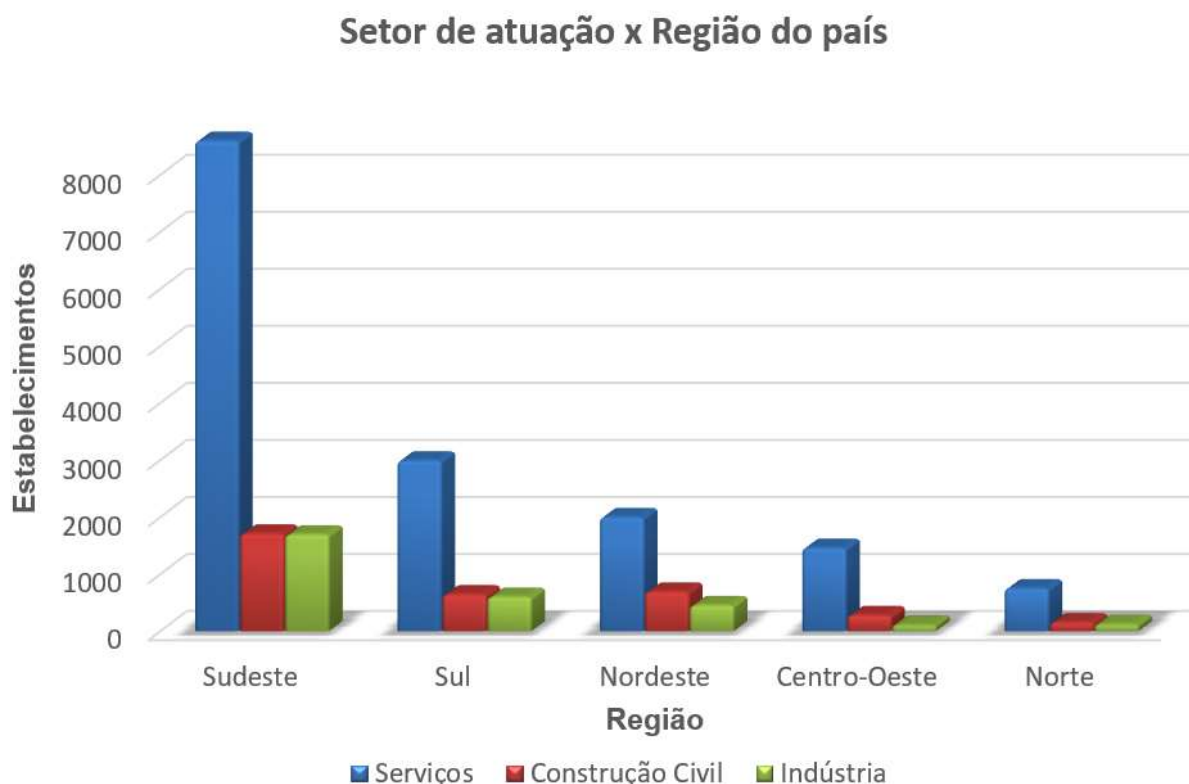
Figura 43 - Empresas por setor de atuação no Brasil



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Adicionalmente, os resultados da pesquisa permitiram o entendimento da situação da matriz empresarial de acordo com o setor de atuação para cada região do país, conforme abordado na Figura 44.

Figura 44 - Empresas de acordo com setor de atuação por região do Brasil



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Foi possível identificar uma predominância de empresas que atuam com serviços, fato esperado pela natureza prestativa dos serviços de saneamento básico e ambiental, que contemplam o reúso de água, aos cidadãos. Esse padrão sugere também uma relação com a demanda de água por setor. Paralelamente, os números obtidos são consideravelmente menores para o setor de Construção Civil e Indústria, fato que indica um potencial maior para investimento em empreendedorismo e inovação nesses setores de atuação. Sob a ótica regional, destacam-se as regiões Centro-Oeste, Norte e Sul com menores quantidades de empresas.

Além disso, o resultado da pesquisa elucida o panorama empresarial de acordo com o porte dessas 22.281 empresas totais, das quais 10.726 são do tipo Microempresa (ME), 2.124 são do tipo Microempreendedor Individual (MEI), 3.233 são Empresas de Pequeno Porte (EPP) e 6.198 são médias e grandes empresas incluindo as que não declaram seu porte no momento da abertura.

É plausível observar ainda que esse arranjo mostra que as EPP, médias e grandes empresas, bem como as não declarantes de seu porte, representam apenas cerca de quarenta e dois por cento do total. Nessa perspectiva, essas empresas, que geralmente possuem uma maior capacidade de impactar os beneficiários através dos seus produtos e serviços em decorrência de seu porte, estão com uma representatividade tímida no cenário nacional. Em contrapartida, se as microempresas e os microempreendedores individuais implementarem práticas de reúso de água, ainda que dentro das suas limitações, os benefícios socioeconômicos e ambientais podem ser maximizados.

7.3.2 Panorama no Ceará

Os estudos feitos para o cenário do Ceará utilizaram as sete subclasses de categoria CNAE selecionadas e a delimitação do local para Ceará como filtros na plataforma DataSebrae Painéis (SEBRAE, 2025). Com isso, foi identificado um total de 574 empresas no estado do Ceará. De forma análoga ao cenário brasileiro, os dados foram organizados por estabelecimentos, que contemplam as matrizes e suas respectivas filiais. O Quadro 9 descreve a distribuição das empresas de acordo com subclasse CNAE relacionada no Ceará.

Quadro 9 - Empresas segundo as atividades CNAE selecionadas no Ceará

DISTRIBUIÇÃO DA MATRIZ EMPRESARIAL NO CEARÁ POR CLASSIFICAÇÃO CNAE			
CÓDIGO CNAE	DESCRIÇÃO	EMPRESAS	%
37.02-9	Atividades relacionadas a esgoto, exceto a gestão de redes.	137	23,87%
71.19-7/99	Atividades técnicas relacionadas à engenharia e arquitetura não especificadas anteriormente.	84	14,63%
36.00-6/01	Captação, tratamento e distribuição de água.	45	7,84%
42.22-7/01	Construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, exceto obras de irrigação.	149	25,96%
28.25-9/00	Fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios.	16	2,79%
37.01-1	Gestão de redes de esgoto.	23	4,01%
71.20-1/00	Testes e análises técnicas.	120	20,91%
TOTAL DE EMPRESAS		574	

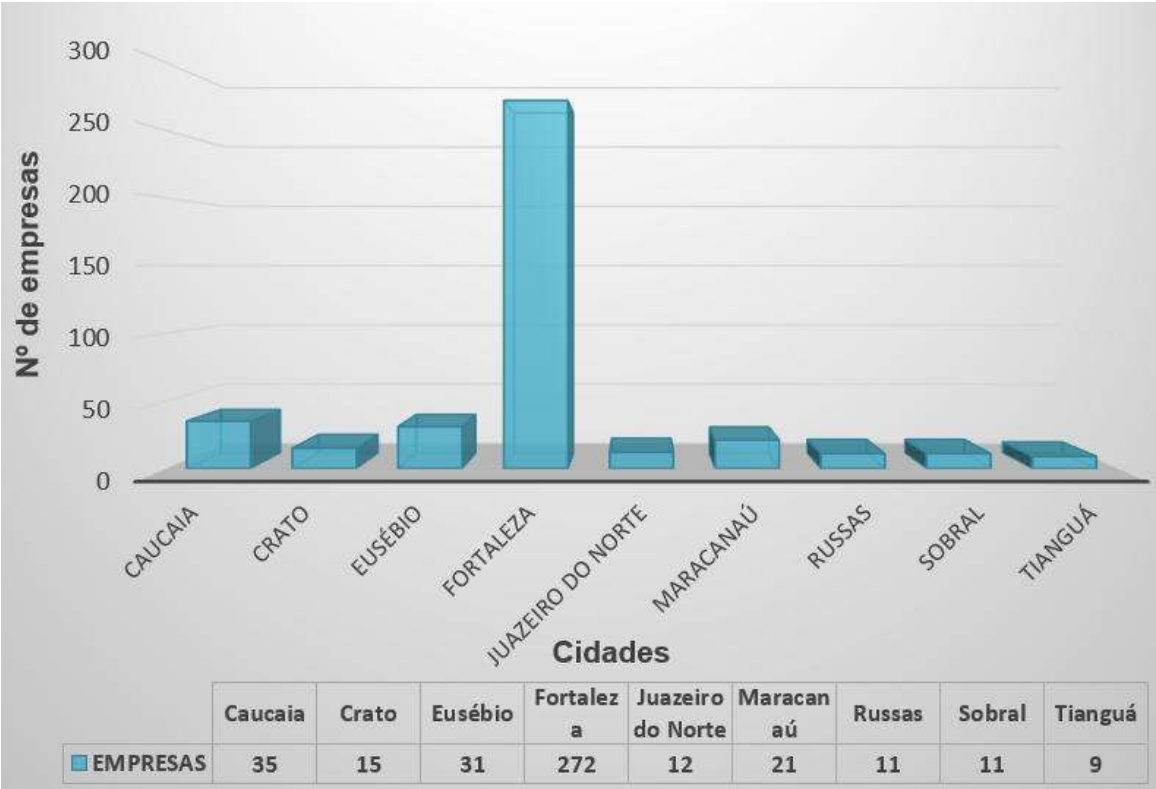
Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Nesse aspecto, notou-se uma diferença em relação ao panorama nacional. Isso porque a maior parte das empresas (25,96%) estão vinculadas à construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas. Em seguida, as empresas com atuação relacionadas ao esgoto e aos testes e análises técnicas correspondem à quase quarenta e cinco por cento do total.

Ainda nesse sentido, foi observada uma concentração da grande maioria das empresas na capital do estado e em cidades maiores com área de influência considerável. Essa situação denota uma concentração de empresas nessas áreas específicas, visto que quatrocentas e dezessete empresas (72,65%) estão concentradas em apenas nove cidades do estado.

A cidade de Fortaleza, capital do estado, lidera de forma destoante possuindo duzentos e setenta e duas empresas do ramo. Na sequência, as cidades de Caucaia, Eusébio e Maracanaú, que ficam localizadas nas proximidades de Fortaleza, possuem trinta e cinco; trinta e um; e vinte e um estabelecimentos, respectivamente. Outras cidades pelo do estado, em regiões mais afastadas da capital, tiveram números de empresas bem similares: quinze no Crato, doze em Juazeiro do Norte, onze em Russas, onze em Sobral e nove em Tianguá. A Figura 45 ilustra essa situação das cidades com mais empresas.

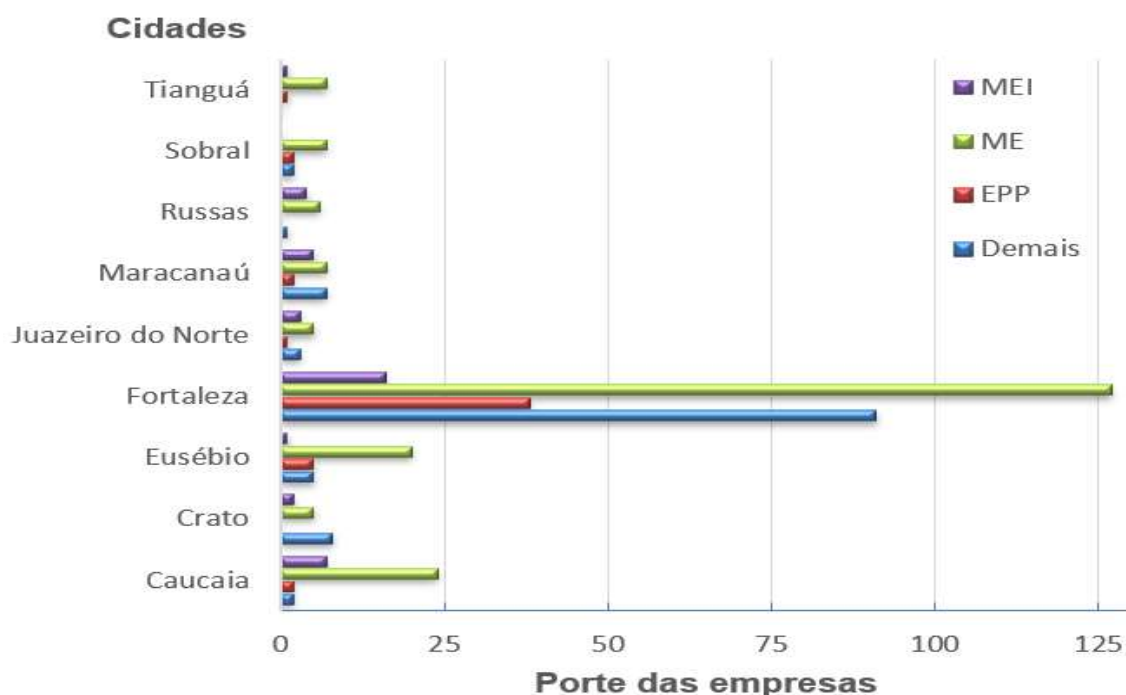
Figura 45 - Cidades com mais empresas da área de reúso de água no Ceará



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Diante desse cenário, foram feitas as análises foram realizadas com foco nessas cidades, considerando a sua grande representatividade a nível estadual. Foram sistematizados os dados de empresas de acordo com seu porte, conforme ilustrado na Figura 46.

Figura 46 - Porte das empresas por cidades

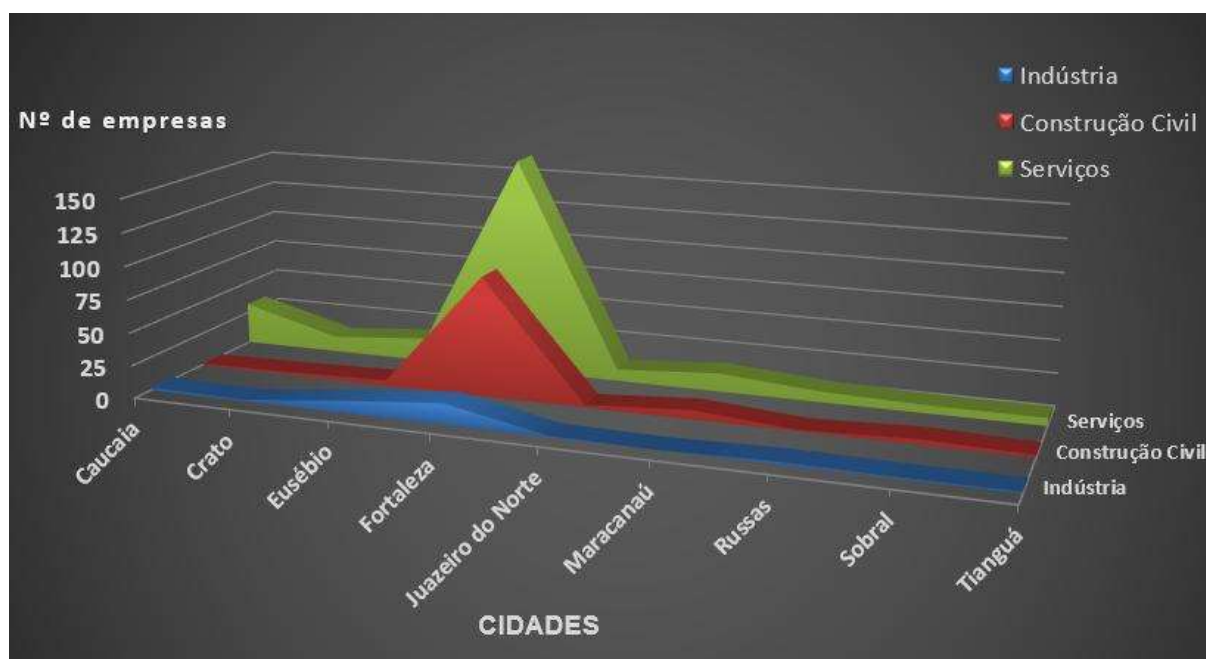


Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Dessa forma, ficou evidente um padrão de distribuição bem semelhante ao cenário nacional, de forma que a quantidade de empresas menores, MEI e ME, supera as de médio e grande porte.

Por fim, foi estudado a distribuição dos setores de atuação das empresas nesses municípios, conforme pode ser observado nas Figura 47.

Figura 47 - Setor de atuação por cidades



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

As informações obtidas indicam um predomínio do setor de serviços em todas as cidades, em consonância com o constatado para o Brasil. Entretanto, particularmente para as cidades de Fortaleza, Eusébio, Maracanaú e Juazeiro do Norte houve um destaque expressivo do setor de construção civil em relação ao setor industrial. A compreensão dessa distribuição indica as maiores demandas de consumo de água e pode ser utilizada para orientar o direcionamento de esforços e estímulos às atividades de reúso de água com maior assertividade.

8 CONCLUSÃO

As pesquisas realizadas evidenciaram que estão em alta as tecnologias de reúso de água, com destaque para o reúso agrícola, o reúso em edificações, reúso industrial, além do aproveitamento de águas pluviais. Em sua maioria, essas tecnologias estão associadas às técnicas de tratamentos por processos físicos, químicos e biológicos, adequadas à respectiva finalidade de aplicação.

Foram identificados entraves importantes para o reúso, como a ausência de uma regulamentação uniforme a nível global e de Brasil, a presença de substâncias contaminantes emergentes e desafiadoras que potencializam os riscos à saúde, bem como a necessidade de monitoramentos eficientes e confiáveis.

Concluiu-se que as patentes de tecnologias de reúso de água no cenário mundial cresceram substancialmente nos últimos anos. Foram mapeados no Brasil e no mundo quais são as principais tecnologias de reúso de água em desenvolvimento protegidas por patentes, as áreas tecnológicas correlatas e quais os principais depositantes envolvidos. Essa conjuntura evidenciou a importância do tema e despertou um otimismo quanto aos avanços tecnológicos e as chances de êxito na transferência dessas tecnologias.

Apesar disso, de modo oposto ao panorama mundial, o número de proteções no Brasil reduziu nos últimos anos. Ademais, a pouca proteção no Brasil indicou uma exploração ainda tímida das tecnologias de reúso de água, inclusive sem a presença de depositantes que se destacam. Em contrapartida, esse contexto demonstrou abertura e demanda tecnológica na área. Quanto às patentes mais relevantes no Brasil e no mundo, identificou-se que elas contemplaram dispositivos e sistemas de tratamento e reciclagem de águas residuais, principalmente águas residuárias domésticas.

No âmbito empresarial, a nível de Brasil foi observada uma desigualdade regional da matriz empresarial relacionada ao reúso de água, com grande concentração para a região sudeste, ficando a região nordeste em posição intermediária. Além disso, foi possível concluir que a maioria das empresas atuam no setor de prestação de serviços.

No que se refere ao estado do Ceará, a matriz empresarial está concentrada em Fortaleza, capital do estado, e em cidades maiores com área de influência considerável: Caucaia, Eusébio, Maracanaú, Crato, Juazeiro do Norte, Russas, Sobral

e Tianguá. Além do setor de serviços, o setor de construção civil se mostrou com grande potencial de investimento para a região metropolitana de Fortaleza. Quanto ao porte da malha empresarial, foi observado que existe um equilíbrio de atuação entre microempresas e empresas de médio e grande porte.

Em síntese, foi constatada a importância da água de reúso como fonte hídrica alternativa, considerando inclusive a conjuntura de escassez hídrica e mudanças climáticas. Todavia, é imprescindível a coordenação de esforços múltiplos nas esferas acadêmica, governamental, empresarial e social para o desenvolvimento, a disseminação e a segurança das práticas de reúso de água, promovendo a sustentabilidade econômica e socioambiental.

Com a consolidação e a sistematização dos dados dessa pesquisa, foi produzido um livro técnico-tecnológico sobre as tecnologias de reúso de água aplicáveis ao Brasil e ao estado do Ceará. Esse material didático poderá ser acessado pelo meio acadêmico, profissional, empresarial e governamental.

9 PERSPECTIVAS FUTURAS

Quanto às perspectivas futuras, espera-se que os estudos sobre o reúso de água em suas diversas categorias sejam continuados, aprimorados e atualizados. Além disso, é fundamental que as tecnologias relacionadas ao reúso possam alcançar níveis de maturidade mais avançados, para que, através dos processos de transferência de tecnologia, sejam acessadas pelas empresas e pela população.

Não obstante, é desejável que o setor público atue de forma tempestiva para estabelecer regulamentações unificadas e seguras para todo o país. Outrossim, é expectável um aumento do engajamento do setor público e privado, inclusive através de subsídios e parcerias, para expandir a matriz empresarial com atuação nas práticas de reúso de água no Ceará e no Brasil.

10 ENTREGÁVEIS COMO PRODUTOS DA DISSERTAÇÃO

Os produtos entregáveis dessa pesquisa são descritos a seguir:

1. Matriz de SWOT (FOFA) conforme o Apêndice A.
2. Figura Diagrama do Modelo de Negócio CANVAS segundo o Apêndice b.
3. Pelo menos 01 artigo em avaliação ou já publicado por revista Qualis B3 ou mais da área do PROFNIT, em coautoria do discente e do orientador pelo menos, trazido no Apêndice C, cujo respectivo comprovante de submissão está no Anexo A.
4. Texto Dissertativo no formato mínimo do PROFNIT Nacional.
5. O produto técnico-tecnológico que será entregue consiste em um material didático (livro) dirigido a um público específico e sobre Propriedade Intelectual, e/ou Transferência de Tecnologia para inovação Tecnológica.

[illegible]

REFERÊNCIAS

- ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Reúso de Água nas Crises Hídricas e Oportunidades no Brasil**. 2015. Acesso em 02/12/2025.
- ABBASZADEGAN, M. *et al.* Water Reuse—Retrospective Study on Sustainable Future Prospects. **Water**, v. 17, n. 6, p. 789, 10 mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/w17060789>.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Brasil, 1997. Acesso em 25/09/2025.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - requisitos**. Brasil, 2019. Acesso em 29/11/2025.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Brasil, 2019. Acesso em 29/09/2025.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. ANA declara situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos da Região Hidrográfica do Paraná. 2021. **Gov.br**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/anadeclara-situacao-de-escassez-quantitativa-dos-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-do-parana>. Acesso em 20 de julho de 2025.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília: **ANA**, 2009.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: **ANA**, 2019.
- ANGELAKIS, A.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMÉNEZ, B.; TCHOBANOGLOUS, G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. 26, 2018. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Porte de empresas: esclareça todas as suas dúvidas. 2019. **Gov.br**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/porte-de-empresas-esclareca-todas-as-suas-duvidas>. Acesso em 31/10/2025.
- BARBOSA, D. B. **Uma introdução à propriedade intelectual**. 2º ed. Rio De Janeiro: Editora Lumen Juris, 2003.
- BARBOSA, M. T. **Sistemas de reuso de águas cinzas domésticas para agricultura familiar: o caso de comunidades rurais do estado do Ceará'** 25/03/2019 185 f. Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente Instituição de Ensino: Fundação

Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: Biblioteca de Saúde Pública.

BERISHA, G.; PULA, J. S. Defining Small and Medium Enterprises: a critical review. **Academic Journal of Business, Administration, Law and Social Sciences**, Tirana, v. 1, n. 1, p. 17–28, mar. 2015. ISSN 2410-3918.

BRASIL. **Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996**. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Diário Oficial da União, 1996.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.546, de 04 de abril de 2023**. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas. Diário Oficial da União, 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 503, de 14 de dezembro de 2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Diário Oficial da União, 2021.

BRASIL. **Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2005.

BRASIL. **Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. Diário Oficial da União, 2010.

BRITO, I. A. DE *et al.* Irrigação com reúso de água cinza em sistemas agroecológicos: uma revisão da literatura. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 18, n. 3, p. e16372, 18 mar. 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.3-212.

BRITTO, J. N. DE P.; RIBEIRO, L. C.; ALBUQUERQUE, E. DA M. E. International patent citations and its firm-led network. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 51, n. 4, p. 699–732, out. 2021.

CASARIM, R. **Usina de hidrogênio verde do Ceará utilizará água de reuso proveniente de esgoto tratado**. 2022. Ceará. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/armazenamento/usina-de-hidrogenio-verde-do-ceara-utilizara-agua-de-reuso-proveniente-de-esgoto-tratado>. Acesso em 01. Dez. de 2025.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC. Brasília, 2019.

CARNESI, M. *et al.* An innovative risk assessment framework for water reuse: The case study of CorConstrução. -). **Journal of Environmental Management**, v. 380, p. 125090, 28 mar. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125090>.

CARRIS, R. A diferença entre Empresa e Empresário. **Jusbrasil**, 09 de setembro de 2024. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/a-diferenca-entre-empresa-e-empresario/2711319332>. Acesso em 30/10/2025.

CARVALHO, C. B. Estudos de mobilidade de contaminantes no solo e de confiabilidade para avaliar o uso de águas residuárias tratadas em indústrias siderúrgicas. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). **Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental**, Fortaleza, 2021.

CEARÁ. **Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016**. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. Diário Oficial do Estado do Ceará, 2016.

CEARÁ. **Resolução COEMA nº 02, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará, 2017.

CEARÁ. **Com grande potencial em energias renováveis, o Ceará está se tornando a Casa do Hidrogênio Verde**. Ceará/Gov. Ceará, 2024. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2024/01/01/com-grande-potencial-em-energias-renovaveis-o-ceara-esta-se-tornando-a-casa-do-hidrogenio-verde/#:~:text=O%20HUB%20de%20Hidrog%C3%AAnio%20Verde,de%20H2V%20em%20larga%20escala>. Acesso em 04 de dez. 2025.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Água de Reúso de Estação de Tratamento de Efluentes: Oportunidades e Riscos para o Setor Empresarial**. Rio de Janeiro, 2022.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reúso de água**. Março de 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em 20/10/2025.

CHEN, X.-W. *et al.* Feature of water: A practical concept in water reuse. **Water Cycle**, v. 6, p. 300–305, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.04.001>.

CLEMENTS, E. *et al.* Review of quantitative microbial risk assessments for potable water reuse. **Environmental Science: Water Research & Technology**, 2025. <https://doi.org/10.1039/d4ew00661e>.

COSTA, C. S. *et al.* Reuse of Treated Wastewater to Address Water Scarcity in Viticulture: A Comprehensive Review. **Agronomy**, v. 15, n. 4, p. 941–941, 12 abr. 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040941>.

CULL-HOST, J. *et al.* New Mexico as a testbed for safe beneficial produced water reuse. **Environmental Challenges**, v. 19, p. 101116, jun. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101116>.

DAMACENO, M. G. DE S.; CRUVINEL, K. A. DA S.; SANTOS, A. S. P. Potencial de reúso agrícola na upgrh dos Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba. **Revista DAE**, v. 71, n. 242, p. 146–161, 7 set. 2023.

DAS-CE. Secretaria do Desenvolvimento Agrário do estado do Ceará. 2025. Ceará. **Ceará inicia construção de sistemas de reúso de água e fossa ecológica com investimento de mais de R\$ 3 milhões**. Disponível em: <https://www.sda.ce.gov.br/2025/09/02/ceara-inicia-construcao-de-sistemas-de-reuso-de-agua-e-fossa-ecologica-com-investimento-de-mais-de-r-3-milhoes/>. Acesso em 02. Dez. de 2025.

DATA SEBRAE PAINÉIS. <https://datasebraeindicadores.sebrae.com.br/resources/sites/data-sebrae/data-sebrae.html#/Empresas> Acesso: 01 de setembro a 30 de outubro de 2025.

DOS SANTOS, A. B. Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais. Fortaleza, Brasil: **Impreco**, 2019. 812 p.

EPA. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. USAID. CDMSmith. **EPA/600/R-12/618**. Set. 2012.

FERREIRA, W.; FURTADO, A. C. Reúso de água em destiladores pilsen: uma prática sustentável. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 2943–2963, 17 jan. 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-175.

FERRI, E. N.; BOLELLI, L. Wastewater Remediation Treatments Aimed at Water Reuse: Recent Outcomes from Pilot- and Full-Scale Tests. **Applied Sciences**, v. 15, n. 5, p. 2448, 25 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/app15052448>.

FICO, G.C *et al.* Water reuse in industries: analysis of opportunities in the Paraíba do Sul river basin, a case study in Presidente Vargas Plant, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 44, p. 66085–66099, 30 abr. 2022.

FILHO, E. H. C. *et al.* Water Reuse: Contribution of a Decision Support Model. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 692–692, 16 jan. 2025. <https://doi.org/10.3390/su17020692>.

FIRMINO, L. DE Q. *et al.* Tratamento e reúso de água para fins agrícolas em comunidade rural localizada no sertão Paraibano. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 10991–11011, 6 set. 2023. DOI: 10.55905/oelv21n9-028.

GARCIA-MARTINEZ, L. J. et al. Untangling the relationship between small and medium-sized enterprises and growth: a review of extant literature. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 19, p. 455–479, 13 jan. 2023.

HALL, Bronwyn H. Does patent protection help or hinder technology transfer? 2010. **Berkeley**. Disponível em: https://eml.berkeley.edu/~bhhall/papers/BHH13_KDI_paper.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Comissão Nacional de Classificação - Concla | Busca online**. 2025. Disponível em: https://cnae.ibge.gov.br/?option=com_cnae&view=estrutura&Itemid=6160&chave=&tipo=cnae&versao_classe=7.0.0&versao_subclasse=9.1.0&gl=1*f8cveb*ga*MTM1ODMyNDc5Ni4xNzYwOTg3ODQz*ga_0VE4HSDTTT*czE3NjA5ODc4NDIkbzEkZzEkdDE3NjA5ODc5MDUkajU5JGwwJGgw. Acesso: 01 de setembro a 05 de outubro de 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Panorama das cidades brasileiras**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso em 20/10/2025.

INPI. INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Inventando o futuro: uma introdução às patentes para as pequenas e médias empresas/ Instituto Nacional da Propriedade Industrial**. – Rio de Janeiro: INPI, 2013.

JINAN SHENGQUAN GROUP SHARE HOLDING CO Ltd. Tang Yilin, Jiang Chengzhen, Gao Shaofeng, Lü Dongsheng, Shen Zujiang, Suo Xuanwei. **Method and system for treating furfural production wastewater and method and system for furfural production**. CN n. 100352776C, 09 nov. 2006, 05 dez. 2007.

JINAN SHENGQUAN GROUP SHARE HOLDING CO Ltd. Yilin Tang, Chengzhen Jiang, Shaofeng Gao, Dongsheng Lv, Zujiang Shen, Xuanwei Suo. **Method and system for disposal of furfural wastewater and method and system for furfural production**. US n. 8,764,947 B2, 08 nov. 2006, 13 dez. 2007.

KEFFALA, C. et al. Diagnosis and Assessment of a Combined Oxylag and High Rate Algal Pond (COHRAP) for Sustainable Water Reuse: Case Study of the University Campus in Tunisia. **Water**, v. 17, n. 9, p. 1326, 29 abr. 2025. <https://doi.org/10.3390/>

KHAN, U. A. et al. Towards sustainable water reuse: A critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality. **Journal of Hazardous Materials**, p. 136175–136175, 1 out. 2024.

LIMA, M. A. DE M. et al. Water reuse in Brazilian rice farming: Application of semiquantitative microbiological risk assessment. **Water Cycle**, v. 3, p. 56–64, 2022.

MANNINA, G. et al. Ultrafiltration membrane modelling: Comparing two mathematical models by sensitivity and uncertainty analysis for Palermo and Corleone (Italy) water

reuse case studies. **Science of The Total Environment**, v. 963, p. 178456, fev. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178456>.

MARQUES, M. V. A. *et al.* Reúso não potável de água: Aspectos legais, aproveitamento urbano e agrícola, e tecnologias emergentes para produção de água para reúso. Nota Técnica 3 - Uso agrícola: Condições de aplicabilidade de efluente de estações de tratamento de esgoto. **Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 29-41, 2022.

MEDEIROS, J. A. DE. Aula de campo na educação geográfica no semiárido brasileiro: estudo do reúso de água na irrigação da acerola. **Geoconexões**, v. 2, n. 16, p. 47–63, 21 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.15628/geoconexes.2023.15723>. METCALF & EDDY, Inc. an AECOM Company et. Al. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. 1st ed. New York: McGRAW-HIL, 2007.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003.

NEGOSSEQUE, CLAUDIO ANTONIO. **Sistema de reuso de água, para descarga no vaso sanitário**. BR n. 102015010300A2, 6 maio 2015, 01 mar. 2017.

ONU. ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 20/10/2025.

OMS. Organização Mundial da Saúde, Avaliação quantitativa do risco microbiano: aplicação à água, Gestão da Segurança. **Organização Mundial da Saúde**, 2017.

PALIAGA, S. *et al.* Resource recovery from wastewater treatment: Effects of water reuse and slow-release fertilizers on faba bean within Palermo University (Italy) case study. **Journal of Environmental Management**, v. 373, p. 123839–123839, 1 jan. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123839>.

PÓVOA, L. M. C.; RAPINI, M. S. Technology transfer from universities and public research institutes to firms in Brazil: what is transferred and how the transfer is carried out. **ANPEC / working paper / Science and Public Policy**, 2010. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/encontro2009/inscricao.on/arquivos/000-ea89aeb87b91fc73d8bb6d5799713887.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

QUESTEL. Entenda o status legal e a situação jurídica em FAMPAT/FULLPAT. **Orbit Intelligence**. 2024. Acesso em 29 nov. 2025.

QUESTEL. Regras de construção da família FAMPAT. **Orbit Intelligence**. 2020. Acesso em 29 set. 2025.

RAMANAMANE, N.; PITA, M. Designing a High-Performance Oil–Water Filtration System: Surface-Enhanced Quartz with Hydrophilic Nanoparticles for Sustainable Water Reuse and Global Water Scarcity Solutions. **Water**, v. 17, n. 4, p. 501, 11 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/w17040501>.

RICHARDSON, M. Conheça as principais formas jurídicas das empresas. **SEBRAE**, 2025. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/caracteristicas-das-empresas-pela-forma-juridica,813ae3ae7d316410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em 30/10/2025.

ROCHA, C. T. S. *et al.* **Qualidade da água de uma nova tecnologia social de tratamento de água cinza**. Research, Society and Development, v. 12, n. 5, e5512541418, 2023.

SAFARPOUR, H. *et al.* Barriers and drivers to implement alternative water use in the chemical industry: A stakeholder perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 517, p. 145582, jul. 2025.

SANT'ANA, D. R.; LEO, M.; SANTANA, L. F. Potencial do aproveitamento de água de chuva e do reúso de água cinza em edificações de escritórios em Brasília-DF. **Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**, v. 15, p. 167–176, 14 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46421/sispred.v3.2984>.

SANTIAGO, F; JALFIM, F. O sistema bioágua familiar. **Lições para o desenvolvimento em Moçambique e no Brasil** -Volume 2. 2018.

SANTOS, A. B. DOS; MOTA FILHO, C. R. Non-potable water reuse: legal aspects, urban and agricultural use, and emerging technologies for the production of water for reuse Technical Note 1 – Interest topics. **Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 5–14, 2022.

SANTOS, A. S. P. *et al.* A perspective for the acceptance of water reuse: history of the valorization of wastewater throughout the development of society. **Water policy**, 22 mar. 2024.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M. Reúso não potável de água: Aspectos legais, aproveitamento urbano e agrícola, e tecnologias emergentes para produção de água para reúso. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. **Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SANTOS, A. S. P; LIMA, M. A. M; SOARES, S. R. A. Diretrizes para o reúso de água no Brasil. **Instituto Reúso de Água**, Braga / Portugal – Rio de Janeiro / Brasil, 2025.

SANTOS, A.S.P; LIMA, M.A.M. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. **Cadernos Técnicos Eng. Sanit. Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 15-27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/276455760203002>.

SEBRAE. Serviço de apoio às micro e pequenas empresas. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. Sistema FIRJAN- Federação das indústrias do estado do rio de janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

SEIS, W. *et al.* Comparison of statistical evaluation approaches for log-removal validation according to European water reuse regulations. **Science of The Total Environment**, v. 964, p. 178573, fev. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178573>.

SHAMSAEIFAR, M. R.; MEHRDADI, N.; NABI BIDHANDI, G. Optimizing Reservoirs to Provide Water in Times of Crisis, With Emphasis on the Reuse of Treated Wastewater in Different Uses. **Journal of Advances in Environmental Health Research**, v. 13, n. 1, p. 51–59, 22 jan. 2025. <https://doi:10.34172/jaehr.1379>.

SHI, Q. *et al.* Safe Reuse of Treated Wastewater: Accumulation of Contaminants of Emerging Concern in Field-Grown Vegetables under Different Irrigation Schemes. **Environmental science & technology**, v. 59, n. 12, p. 6261–6271, jan. 2025. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c13666>.

SINISA. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico / **Saneamento básico no Brasil 2024 (base 2023)** / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/ Ministério das Cidades. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNDU1ZmM4ZjYtNTU0YS00YjFkLWE5NzYtMjNkZThjYjg3YzVmliwidCI6IjFmMWJlODAwLWVvZGYtNDJmNC1iZGExLTdmMjIhYmU2ZDQ3YSJ9&pageName=344bbd2d217999c8e747>.

SOARES, F. A. *et al.* Estudo de caso sobre a avaliação do potencial qualitativo do reúso de água residuária na ETE - rio Pará de Divinópolis-MG. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 8, n. 1, p. e77204–e77204, 1 fev. 2025. DOI: 10.34188/bjaerv8n1-056.

SPECKER, J. C. *et al.* Risk characterisation of chemicals of emerging concern in real-life water reuse applications. **Environment International**, v. 195, p. 109226, jan. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109226>.

TAMMONE, C. *et al.* Efficient phytoremediation of first-flush storm water using an innovative constructed wetland: a pilot-scale study towards sustainable water reuse. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 159, n. 1, p. 66–78, 2 jan. 2025. <https://doi.org/10.1080/11263504.2024.2446782>.

TEECE, David J. Technology transfer by multinational firms: the resource cost of transferring technological know-how. **The Economic Journal**, v. 87, n. 346, p. 242–261, 1977.

TEYMENNET-RAMÍREZ, K. V. *et al.* Detoxification of tequila vinasse by *Trametes sanguineus*: a biotechnological approach to laccase production and water reuse in seedling growth. **Environmental Science and Pollution Research**, 8 abr. 2025. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36377-5>.

TIMMER, M. J. *et al.* Combined membrane aeration and filtration for energy- and space-efficient COD removal in water reuse. **Water Research X**, v. 27, p. 100344, 14 abr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2025.100344>.

TRECOSSI, L. V. P. *et al.* Otimização da retrolavagem dos filtros de areia utilizados para reúso de água como estratégia para a gestão hídrica. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 12, p. 33458–33473, 22 dez. 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.12-261.

VIANA, L. S. Patents Go to The Market? University-Industry Technology Transfer from a Brazilian Perspective. **JOTMI — Journal of Technology Management & Innovation**, 2018. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27242018000300024&script=sci_arttext. Acesso em: 1 nov. 2025.

VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J.; RATNAWEERA, H. High Rate Stormwater Treatment for Water Reuse and Conservation—Review. **Applied Sciences**. 2025, 15, 590. <https://doi.org/10.3390/app15020590>.

VILLACORTA-RANERA, C.; ECKSTEIN, G.; BLANCO-GUTIÉRREZ, I. Challenges and prospects of reclaimed water reuse in Spanish agriculture. **Water International**, p. 1–21, 28 abr. 2025. <https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2485856>. w17091326.

WONG, A. C. C. *et al.* Diversity and functional capabilities of the microbial metagenome in a potable water reuse system. **Desalination and Water Treatment**, v. 322, p. 101210, abr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101210>.

ZPE-CE. Zona de Processamento de Exportação do Ceará. 2020. Ceará. **No mês do meio ambiente Complexo do Pecém celebra sistema de reúso de água que economiza mais de 200 mil litros por semana**. Disponível em: <https://zpeceara.com.br/no-mes-do-meio-ambiente-complexo-do-pecem-celebra-sistema-de-reuso-de-agua-que-economiza-mais-de-200-mil-litros-por-semana/>. Acesso em 01. Dez. de 2025.

APÊNDICE A – Matrix FOFA (SWOT)



Associação Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em
Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação



MATRIZ SWOT (FOFA)

	AJUDA	ATRAPALHA
INTERNA (Organização)	FORÇAS: 1. Público-alvo relacionado diretamente à temática 2. Infraestrutura organizacional alinhada com os valores do projeto. 3. Embasamento técnico do tema.	FRAQUEZAS: 1. Limitação de conteúdos disponíveis para a pesquisa. 2. Gestão do tempo para execução da pesquisa. 3. Complexidade da execução do trabalho. 4. Resistência para utilização do material elaborado.
EXTERNA (Ambiente)	OPORTUNIDADES: 1. Aprimoramento de produtos e serviços no mercado. 2. Desenvolvimento de novos produtos e serviços inovadores para o mercado. 3. Temática amparada por legislação. 4. Mercado possui demanda para implementação e disseminação das tecnologias.	AMENÇAS: 1. Desenvolvimento de um trabalho semelhante no mesmo período. 2. Mudanças de legislações que afetem o tema. 3. Dinamismos das publicações de artigos, patentes e dados empresariais.

APÊNDICE B – Modelo de Negócio CANVAS



Associação Fórum Nacional de Gestores de Inovação e Transferência de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em
Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação



CANVAS

Parcerias Chave:	Atividades Chave:	Propostas de Valor:	Relacionamentos:	Segmentos de Clientes:
1. Centro de Inovação e Tecnologia do IFCE – campus Sobral. 2. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE/CE. 3. Instituto Federal do Ceará – campus Fortaleza.	1. Planejamento do produto. 2. Desenvolvimento contínuo do produto. 3. Revisões sistemáticas do material e de suas etapas. 4. Manutenção e viabilidade dos principais recursos, como computador, internet e softwares.	1. Possibilidades para o mercado de trabalho. 2. Potencial de empreender e inovar. 3. Nicho de atuação para profissionais da área.	1. Divulgação para a comunidade acadêmica do trabalho realizado. 2. Exposição da importância e potencial do trabalho para o público-alvo.	1. Institutos Federais 2. Universidades 3. Faculdades particulares 4. Sistema S 5. Empresas privadas 6. Administração pública
Recursos Chave: 1. Computador. 2. Internet. 3. Bases de periódicos 4. Bases de Patentes. 5. Bases empresariais. 6. Impressora.		Canais: 1. Meio físico – impresso. 2. Meio digital – link, unidade de mídia.		
Estrutura de Custos: 1. Custo com licenças de softwares para potencializar as Pesquisas. 2. Desenvolvimento do produto. 3. Revisões e finalizações do produto.			Fontes de Receita: 1. Recursos próprios do autor 2. Recursos do demandante	

APÊNDICE C – Artigo submetido ou publicado**Conexão entre Saneamento Básico, Sars-Cov-2 (Covid-19) e Lei 14.026/2020: uma revisão sistemática de literatura.****Connection between Basic Sanitation, Sars-Cov-2 (Covid-19) and Law 14.026/2020: a systematic literature review.**

Lucas Daniel de Carvalho Santos, lucas.daniel@ifce.edu.br, ORCID: 0000-0002-0108-9401

Glória Maria Marinho Silva, gloriamarinho@ifce.edu.br, ORCID: 0000-0002-2515-5856

Resumo

O saneamento é um dos pilares de uma vida saudável e digna, de modo que a regulação através de dispositivos legais é de suma importância para a universalização do seu acesso. A pandemia da Covid-19 foi uma crise sanitária mundial com efeitos trágicos, potencializados pelas deficiências nos serviços de saneamento, especialmente quanto ao tratamento de água e esgoto. O objetivo desse trabalho foi analisar como o saneamento básico, o vírus Sars-Cov-2 (Covid-19) e a Lei 14.026/2020 se conectam. Adotou-se a metodologia de revisão sistemática de literatura tipo Methodi Ordinatio para classificar os artigos sobre o tema, através da utilização dos critérios de fator de impacto da revista, ano de publicação, ano da pesquisa e número de citações. De acordo com os artigos científicos dos últimos seis anos (2020-2025) elencados para leitura integral, evidenciaram-se quatro aspectos essenciais: a água, saneamento e higiene (WASH, do inglês water, sanitation, and hygiene) e sua relevância para a saúde, a análise da relação entre o saneamento básico e o coronavírus (Covid-19), a eficiência e viabilidade da epidemiologia baseada em águas residuais (WBE, do inglês wastewater-based epidemiology) e a importância do novo marco regulatório do saneamento básico para o desenvolvimento do setor. Dessa forma, constatou-se que o saneamento básico, o vírus Sars-Cov-2 (Covid-19) e a Lei 14.026/2020 possuem uma relação nítida e relevante.

Palavras-chave: Saneamento. Epidemiologia. WASH. Universalização. Methodi Ordinatio.

Abstract

Sanitation is one of the pillars of a healthy and dignified life, so regulation through legal provisions is extremely important for universal access. The Covid-19 pandemic was a global health crisis with tragic effects, exacerbated by deficiencies in sanitation services, especially water and sewage treatment. The objective of this work was to analyze how basic sanitation, the Sars-Cov-2 virus (Covid-19) and Law 14,026/2020 are connected. The Methodi Ordinatio

type systematic literature review methodology was adopted to classify articles on the topic, using the journal's impact factor criteria, year of publication, year of research and number of citations. According to scientific articles from the last six years (2020-2025) listed for full reading, four essential aspects were highlighted: water, sanitation, and hygiene (WASH) and its relevance for health, the analysis of the relationship between basic sanitation and the coronavirus (Covid-19), the efficiency and viability of wastewater-based epidemiology (WBE) and the importance of the new regulatory framework for basic sanitation for the development of the sector. Thus, it was found that basic sanitation, the Sars-Cov-2 virus (Covid-19) and Law 14,026/2020 have a clear and relevant relationship.

Keywords: Sanitation. Epidemiology. WASH. Universalization. Methodi Ordinatio.

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico, consoante disposto na Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007) atualizada pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), é definido como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

A Organização Mundial de Saúde (2020), por sua vez, afirma que o saneamento seguro é um dos alicerces de uma vida saudável, digna e confortável. Contudo, a realidade para milhares de milhões de pessoas é a de ambientes poluídos, nos quais um ou vários dos elos da cadeia que constitui o saneamento seguro – instalações sanitárias, tratamento de resíduos, eliminação e reutilização segura – estão ausentes ou não podem ser alcançados pela população. Além disso, mais de 1,5 mil milhões de pessoas ainda não dispõem de serviços de saneamento básico, como banheiros privativos com vasos sanitários (OMS, 2024).

No Brasil, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023), conforme dados coletados para ano de referência 2022, apenas 56% da população total é atendida com rede de esgoto, enquanto para o abastecimento de água, 84,9% da população total é atendida. É importante destacar ainda que em 2010 esses percentuais eram, respectivamente, de 46,2 % e 81,1 %, sinalizando um avanço pouco expressivo no setor para esse período de 12 anos.

A falta e deficiência de saneamento básico é um problema grave com sérias consequências para a saúde da população, a economia e o meio ambiente (Almeida et al, 2024). É indiscutível a importância do saneamento para a saúde, tendo em vista que o Brasil teve mais de 191 mil internações por doenças de veiculação hídrica no ano de 2022 (SNIS, 2022).

Nesse sentido, a Lei 14.026/2020 (Brasil, 2020), conhecida como o novo marco regulatório do saneamento básico, reforça a necessidade de progresso para esse setor, diante da sua essencialidade, exigindo metas de universalização que garantam o atendimento de 99% da população com água potável e de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033.

No final de 2019, segundo a Organização Mundial de Saúde (2020), foram descobertas na China as primeiras manifestações de um Coronavírus da Síndrome Respiratória Aguda Grave 2 (SARS-CoV-2), que é o responsável pela pandemia de doença respiratória Covid-19. Desde então, essa pandemia assolou o mundo inteiro, trazendo uma verdadeira crise sanitária de ordem mundial, com efeitos catastróficos. Tal situação é evidenciada através do número de casos de Covid-19 notificados à OMS semanalmente no mês de janeiro: cerca de cinco milhões em 2021, vinte e cinco milhões em 2022 e mais de quarenta milhões em 2023.

Ainda nesse contexto, a própria OMS (2024) reconhece que a vigilância ambiental em águas residuais para SARS-CoV-2 é uma abordagem eficaz para monitorizar a propagação do vírus a nível de comunidade como um método complementar às estratégias de vigilância da saúde pública, evidenciando que a pandemia da Covid-19 e o saneamento guardam relação entre si. Dessa forma, esse trabalho objetiva analisar de que maneira o saneamento básico, o Sars-Cov-2 (Covid-19) e a Lei 14.026/2020 se relacionam.

2 METODOLOGIA

No que se refere à obtenção dos dados deste artigo, foi efetuada uma revisão sistemática da literatura de artigos científicos disponíveis nas bases do portal de periódicos da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). O objetivo foi encontrar artigos científicos que abordassem a relação entre o saneamento básico e o vírus Sars-Cov-2 (Covid-19), bem como a conexão desses temas com a Lei 14.026/2020, que estabelece o novo marco regulatório do saneamento básico no Brasil.

Para tanto, foram feitas buscas avançadas por assunto utilizando as seguintes palavras-chaves em inglês e português associadas aos operadores booleanos “AND” e “OR”, através da combinação: ("Basic Sanitation " AND "COVID-19" OR "SARS-COV-2" AND "Regulation mark") e da busca por “Law 14.026”. Como critérios de busca, as combinações poderiam estar contidas em qualquer campo do respectivo documento, o período delimitado foi de 2020 a 2025 e os tipos de materiais restringiram-se a artigos e artigos de revisão, com acesso aberto e revisados por pares. Além disso, em uma penúltima fase, antes da aplicação da ordem por

pontuação, foi realizada uma leitura do título e resumo, excluindo as eventuais duplicidades e fugas ao tema.

Adicionalmente, é importante frisar que a pesquisa adotou o *Methodi Ordinatio*, descrito por Pagani et al. (2015), que consiste em uma metodologia para revisão sistemática da literatura, através da ponderação da relevância dos documentos de acordo com os seguintes critérios: fator de impacto, número de citações, ano da pesquisa e ano de publicação (Pagani; Kovaleski; Resende, 2017), verificados na Equação 1:

$$InOrdination = \left(\frac{Fi}{1000} \right) + \left(10 \times (10 - (A' - A'')) \right) + Ci \quad (1)$$

Sendo:

Fi - Fator de impacto;

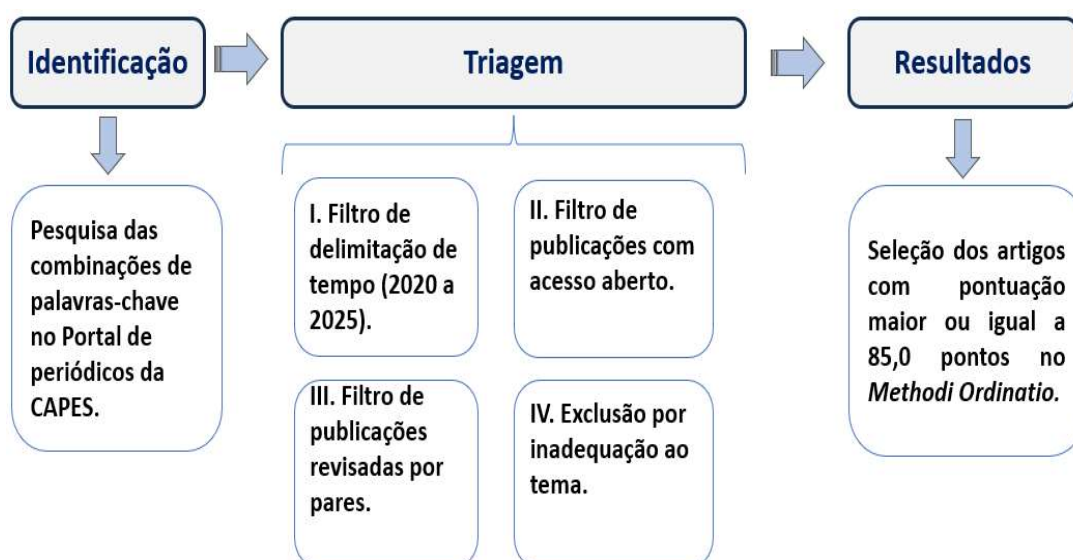
A' - Ano da pesquisa;

A'' - Ano da publicação;

Ci - Número de citações.

Este método, por sua vez, possibilitou a realização da seleção dos conteúdos que seriam utilizados efetivamente na revisão literária, considerando os três fatores mais importantes em um artigo científico, conforme as respectivas ordens de relevância e os critérios de pontuação (Pagani; Kovaleski; Resende, 2017). A Figura 1 demonstra as etapas de triagem das publicações pesquisadas.

Figura 1 – Fluxograma de seleção dos artigos para revisão sistemática da literatura



Fonte: Autor (2025).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pesquisas através das combinações de palavras-chave no portal de periódicos da CAPES, resultaram em um total inicial de 131 publicações. Depois, aplicou-se o filtro de

delimitação temporal para os últimos seis anos, restando 116 artigos. Na sequência, foram excluídos 20 arquivos por não terem acesso aberto, 27 arquivos por não terem seu conteúdo revisado por pares e 15 arquivos por não se adequarem ao tema. Com isso, restaram 54 artigos para aplicação efetiva do Methodi Ordinatio, que se reduziram a 18 artigos selecionados para a leitura integral, após a aplicação de uma pontuação mínima de 85 pontos (nota de corte) para validação, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Artigos selecionados através do Methodi Ordinatio

CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS SELECIONADOS EM ORDEM						
Nº	REVISTA	TÍTULO	Fi	Ci	Ano	InOrdin
1º	The Lancet	Refugee and migrant health in the COVID-19 response.	98,40	593,00	2020	643,10
2º	The Lancet	Centring sexual and reproductive health and justice in the global COVID-19 response.	98,40	340,00	2020	390,10
3º	International Journal of Environmental Research and Public Health	Wastewater-Based Epidemiology (WBE) and Viral Detection in Polluted Surface Water: A Valuable Tool for COVID-19 Surveillance - A Brief Review.	4,61	118,00	2020	168,00
4º	BioMed Central - Antimicrobial Resistance and Infection Control	What matters: non-pharmaceutical interventions for COVID-19 in Europe.	4,80	40,00	2022	110,00
5º	International Journal of Hygiene and Environmental Health	Detection of SARS-CoV-2 RNA on contact surfaces within shared sanitation facilities.	4,50	40,00	2021	100,00
6º	PLOS Water	Infection prevention and control and water, sanitation, and hygiene status of healthcare facilities in the Greater Kampala Metropolitan region during the COVID-19 pandemic in Uganda.	2,90	0,00	2025	100,00
7º	Revista de Gestão Social e Ambiental	Sanitation Challenges in the Complexo da Maré.	0,13	0,00	2025	100,00
8º	Ciência & Saúde Coletiva	Social effectiveness and private sanitation concessions: the CEDAE auction in Rio de Janeiro, Brazil.	1,70	14,00	2023	94,00
9º	Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais	Transformations in the sanitation sector in the State of Rio de Janeiro: neoliberalism and regulatory changes.	0,00	2,00	2024	92,00
10º	The Science of The Total Environment	Identification of environmental, socioeconomic, water, sanitation, and hygiene (WASH) factors associated with COVID-19 incidence in the Philippines: A nationwide modelling study.	8,20	1,00	2024	91,01
11º	The Science of The Total Environment	Quantitative evaluation of water, sanitation, and hygiene measures on COVID-19 pandemic peak reduction in the Philippines.	8,20	0,00	2024	90,01
12º	Fiep bulletin	Effects of government decrees on COVID-19 mortality rates in Southern Brazil.	3,48	0,00	2024	90,00
13º	Semina Ciências Biológicas e da Saúde	Análise comparativa da incidência de enteroparasitoses e do perfil pandêmico da COVID-19 na cidade de Bananeiras - PB.	0,00	0,00	2024	90,00
14º	IOP Conference Series Earth and Environmental Science	Environmental Analysis of Basic Sanitation Quality of Residential Houses in Cokro Spring Stream Central Java, Indonesia.	0,00	0,00	2024	90,00
15º	Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais	The “new” legal framework and the universalization of basic sanitation in rural areas.	0,00	0,00	2024	90,00
16º	American Society of Tropical Medicine and Hygiene	Could Water and Sanitation Shortfalls Exacerbate SARS-CoV-2 Transmission Risks?	2,14	39,00	2020	89,00
17º	Journal of Public Health in Africa	School sanitation and student health status: a literature review.	0,60	8,00	2023	88,00
18º	Frontiers in Sustainable Cities	Different positions in society, differing views of the world: the privatization of water and sanitation services in Minas Gerais, Brazil.	2,40	5,00	2023	85,00

Fonte: Autor (2025).

A partir daí, procedeu-se com a leitura completa dos documentos selecionados que serviram de embasamento teórico deste trabalho, cujos principais aspectos podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados principais dos artigos selecionados para leitura integral

(Continua)

Autores (Ano)	Título	Objetivos	Conclusões
KLUGE, H. H. P. <i>et al.</i> , 2020	<i>Refugee and migrant health in the COVID-19 response.</i>	Analisar a situação dos refugiados e imigrantes no contexto de resposta à pandemia da COVID-19, considerando o acesso às condições de saúde, higiene e sanitárias e o risco atrelado.	As evidências mostram que essa população vulnerável apresenta baixo risco de transmissão de doenças transmissíveis para as populações anfitriãs em geral. No entanto, refugiados e migrantes correm um risco potencialmente maior de contrair doenças, incluindo a COVID-19, porque normalmente vivem em condições de superlotação, sem acesso a serviços básicos de saneamento.
HALL, K. S. <i>et al.</i> , 2020	<i>Centring sexual and reproductive health and justice in the global COVID-19 response.</i>	Refletir sobre as condições de saúde e acesso à higiene e ao saneamento básico pelas populações femininas e que vivem à margem da sociedade, sob o enfoque da justiça social em resposta à pandemia da COVID-19.	Políticas migratórias de dissuasão, incluindo fechamentos de fronteiras nos EUA e na Europa, forçam as mulheres a viverem em assentamentos informais ou em condições de pobreza por longos períodos, muitas vezes sem saneamento básico e higiene ou acesso a cuidados de saúde durante os períodos pré-natal e pós-natal.
OLIVEIRA, M. DE L. A. <i>et al.</i> , 2020	<i>Wastewater-Based Epidemiology (WBE) and Viral Detection in Polluted Surface Water: A Valuable Tool for COVID-19 Surveillance—A Brief Review.</i>	Resumir a experiência global sobre a epidemiologia baseada em águas residuais (WBE) do SARS-CoV-2 e a detecção viral em águas superficiais poluídas como uma ferramenta valiosa para a vigilância da COVID-19 e discute as vantagens e os desafios desta ferramenta de vigilância como uma estratégia complementar.	Os resultados sugerem que a epidemiologia baseada em águas residuais (WBE) é um valioso alerta precoce e uma ferramenta complementar de vigilância útil para diminuir a pressão pública às respostas sanitárias, para adaptar as medidas de contenção e mitigação e para determinar as populações-alvo das testagens. Em ambientes com saneamento precário, rios contaminados podem ser usados como fonte alternativa de vigilância ambiental.
LIU, Y. <i>et al.</i> , 2022	<i>What matters: non-</i>	O objetivo deste estudo é descrever a situação da COVID-	Os fatores mais importantes para a prevenção e o controle individual e em

	<i>pharmaceutical interventions for COVID-19 in Europe.</i>	19 nos países europeus e identificar fatores importantes relacionados à prevenção e controle.	grupo são o índice de mobilidade, a testagem, o fechamento de instituições de ensino, as restrições a grandes aglomerações e as restrições comerciais. Instalações básicas de saneamento, como a proporção de água potável segura, também têm impacto na epidemia de COVID-19.
AMOAHA, I. D. <i>et al.</i> , 2021	<i>Detection of SARS-CoV-2 RNA on contact surfaces within shared sanitation facilities.</i>	Utilizar a avaliação quantitativa de riscos microbianos (QMRA) para avaliar os riscos da utilização de instalações sanitárias partilhadas fora do ambiente clínico, centrando-se nas superfícies de contacto.	As principais superfícies de contato nos banheiros compartilhados investigados neste estudo estavam contaminadas com SARS-CoV-2, com maior prevalência de contaminação no chão, nas torneiras e nos puxadores da descarga.
MUGAMBE, R. K. <i>et al.</i> , 2025	<i>Infection prevention and control and water, sanitation, and hygiene (WASH) status of healthcare facilities in the Greater Kampala Metropolitan region (GKMA) during the COVID-19 pandemic in Uganda.</i>	Estabelecer o status dos comitês de prevenção e controle de infecções (PCI) e os níveis de serviço de água, saneamento e higiene (WASH) em unidades de saúde da Região Metropolitana da Grande Kampala (GKMA), uma região com a maior incidência de COVID-19 em Uganda.	A maioria das unidades de saúde tinha um nível limitado de serviço de saneamento e limpeza ambiental. Portanto, recomendamos melhorias em PCI e WASH nas unidades de saúde para garantir a preparação no combate à COVID-19 e futuras pandemias que exigem PCI e WASH como medidas preventivas. As unidades de saúde devem ter um orçamento destinado a atividades de PCI e WASH, com investimentos deliberados em infraestrutura e suprimentos alternativos.
SILVEIRA, M. R. DA. <i>et al.</i> , 2025	<i>Sanitation Challenges in the Complexo da Maré.</i>	Investigar os desafios enfrentados por comunidades urbanas vulneráveis, como o Complexo da Maré, abordando os impactos na saúde pública, no meio ambiente e nos direitos constitucionais, com o intuito de	A garantia do saneamento básico na região é indispensável para promover saúde, dignidade e reduzir desigualdades. A superação desse desafio depende de esforços coordenados que unam investimentos em infraestrutura, mudanças estruturais nas políticas públicas e o

		expor a vulnerabilidade dessas comunidades e evidenciar as dificuldades relacionadas à universalização do saneamento básico, alinhadas aos direitos constitucionais e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.	fortalecimento da mobilização social, assegurando justiça social para os moradores da região.
REIS, F. DE C. M. <i>et al.</i>, 2023	<i>Social effectiveness and private sanitation concessions: the CEDAE auction in Rio de Janeiro, Brazil.</i>	Identificar os atores que se beneficiaram com a mudança na lei e observar a efetividade social do processo de desestatização, que ocorreu em abril de 2021 com o leilão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) em 35 municípios do estado.	Os governos federal, estadual e municipais, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e grupos privados ganharam com as concessões, mas quanto à efetividade social dos serviços, observou-se que é menor a proporção de população de baixa renda com redes de afastamento do esgoto sanitário nos municípios do estado operados pela iniciativa privada e que as tarifas praticadas são em média maiores ao comparar com os municípios que participaram do leilão.
TAVARE S, É. <i>et al.</i>, 2024	<i>Transformations in the sanitation sector in the State of Rio de Janeiro: neoliberalism and regulatory changes.</i>	Analisar a reconfiguração da prestação do serviço de abastecimento de água nos municípios do estado do Rio de Janeiro, buscando identificar como as novas investidas do processo de neoliberalização no setor de saneamento básico no Brasil promovem a fragmentação na oferta dos serviços e a produção de geografias desiguais na escala regional, sob a lógica da experimentação de políticas, sobretudo após a aprovação da Lei nº 14.026/2020.	A gestão dos serviços de saneamento tem se orientado cada vez mais por uma lógica de mercado, com experimentação de mecanismos regulatórios controversos que reforçam a fragmentação e a desigualdade territorial.
BANDAR A, S. <i>et al.</i>, 2024	<i>Identification of environmental</i> ,	Identificar quantitativamente fatores de risco ambientais, socioeconômicos, variáveis não observadas e sua associação com	Demonstrou a influência de fatores ambientais, socioeconômicos, hídricos, de saneamento e de higiene na incidência da COVID-19 nas Filipinas. Os resultados

	<i>socioeconomic, water, sanitation, and hygiene (WaSH) factors associated with COVID-19 incidence in the Philippines: A nationwide modelling study.</i>	a incidência de COVID-19 em escalas regionais nas Filipinas.	revelaram que a taxa de urbanização, a área e a população estavam principalmente associadas à incidência da COVID-19 em regiões urbanizadas (Cluster 1) das Filipinas. Área, saneamento básico e direção do vento estavam associados à incidência da COVID-19 em regiões rurais (Cluster 2) no país.
BANDAR A, S. <i>et al.</i> , 2024	<i>Quantitative evaluation of water, sanitation, and hygiene (WASH) measures on COVID-19 pandemic peak reduction in the Philippines.</i>	Identificar os fatores de Saúde e Segurança (WASH), ambientais e socioeconômicos que afetam a incidência de COVID-19 e estimar quantitativamente seu impacto na incidência da COVID-19, utilizando técnicas de aprendizado de máquina para analisar os efeitos dos fatores em cenários de aumento da cobertura regional de Saúde e Segurança (WASH) durante os períodos de pico da pandemia	Os resultados deste estudo enfatizam a importância da água, do saneamento e da higiene (WASH) como um indicador de incidência de COVID-19, destacando a necessidade de seu aprimoramento para permitir o alcance de metas sustentáveis de prevenção de doenças e preparação para pandemias.
BRITO, L. M. S. <i>et al.</i> , 2024	<i>Effects of government decrees on COVID-19 mortality rates in Southern Brazil.</i>	Investigar os efeitos de decretos governamentais sobre fatores institucionais, organizacionais, de governança e políticos ocorridos durante o período da pandemia no Brasil e como os estados da região Sul gerenciaram os diferentes fatores.	O efeito dos decretos governamentais durante a pandemia de COVID-19 no sul do Brasil demonstrou a intrincada relação entre a implementação de políticas e suas consequências de longo alcance. Esta pesquisa também destacou as complexidades da gestão de uma pandemia em uma estrutura de governança descentralizada, lançando luz sobre a interação entre decretos governamentais, dinâmicas institucionais e a implementação de estratégias de saúde pública.

CAITANO, N.V. <i>et al.</i> , 2024	Análise comparativa da incidência de enteroparasitoses e do perfil pandêmico da COVID-19 na cidade de Bananeiras - PB.	Correlacionar a incidência de enteroparasitoses e COVID-19, no período pandêmico de 2020 a abril de 2022.	A COVID-19 está predominantemente associada ao aumento de infecções secundárias, destacando a necessidade crucial de promover a educação em saúde, melhorar o saneamento básico e garantir o acesso aos serviços de saúde como componentes essenciais no combate ao aumento de infecções parasitárias, especialmente aquelas relacionadas às patologias virais.
ASYFIRA DAYATI, R. <i>et al.</i> , 2024	<i>Environmental Analysis of Basic Sanitation Quality of Residential Houses in Cokro Spring Stream Central Java, Indonesia.</i>	Determinar a qualidade do saneamento básico de propriedade da comunidade usando a água da nascente Cokro, Indonésia.	O saneamento das casas residenciais no córrego da nascente Cokro Klaten atendeu ao cumprimento do fornecimento de água limpa, mas a disponibilidade de banheiros, instalações de gerenciamento de resíduos e descarte de águas residuais não atendeu aos requisitos básicos de saneamento. A melhoria do saneamento básico é necessária para melhorar a qualidade do saneamento, especialmente no fornecimento de instalações de descarte de resíduos, para que a comunidade atenda à qualidade do saneamento básico de acordo com o Ministro da Saúde da República da Indonésia Número 829/1999.
MARCON, A. M.; JUNIOR, V. J. W., 2024	<i>The “new” legal framework and the universalization of basic sanitation in rural areas.</i>	Analisar o novo modelo institucional estabelecido pela Lei n. 14.026/2020, problematizando a sua capacidade em promover a efetiva universalização do saneamento básico no meio rural, dentro da meta temporal legalmente estabelecida.	As alterações legislativas promovidas na Lei n. 11.445/2007, na forma como foram elaboradas e propostas, não serão capazes, por si só, de concretizar a pretendida universalização da cobertura.
ODIH, E. E. <i>et al.</i> , 2020	<i>Could Water and Sanitation Shortfalls Exacerbate SARS-CoV-2</i>	Descrever o risco que a eliminação fecal representa em locais sem saneamento seguro, como na maior parte da Nigéria, região analisada. Considerando	A transmissão endêmica e epidêmica de múltiplos patógenos fecal-oral por essa via continua sendo documentada em áreas sem saneamento seguro e, portanto, o risco de transmissão do SARS-CoV-2

	<i>Transmission Risks?</i>	que a transmissão fecal-oral pode ocorrer se a transmissão comunitária se tornar alta e sustentada em cidades densamente povoadas sem saneamento adequado na Nigéria e em muitos outros cenários africanos e asiáticos.	precisa ser avaliado, rastreado e prevenido nesses cenários. A vigilância ambiental do SARS-CoV-2 em águas residuais e dejetos humanos acumulados, bem como os esforços para mitigar a entrada do vírus em fontes de água domésticas desprotegidas, devem ser parte prioritária da resposta à COVID-19 em locais sem saneamento seguro durante toda a pandemia.
MOELYA NINGRU M, A. D. <i>et al.</i> , 2023	<i>School sanitation and student health status: a literature review.</i>	Identificar o saneamento escolar, os determinantes de doenças dos alunos relacionadas ao saneamento escolar e o estado de saúde dos alunos de acordo com o saneamento escolar.	As condições de saneamento nas escolas afetaram o estado de saúde dos alunos, a evasão escolar e a concentração dos alunos. Sugere-se que as instalações sanitárias incluam leis e políticas.
SILVA, P. N. <i>et al.</i> , 2023	<i>Different positions in society, differing views of the world: the privatization of water and sanitation services in Minas Gerais, Brazil.</i>	Mapear as percepções de diferentes atores do Estado de Minas Gerais sobre a possível privatização dos serviços de água e saneamento no estado, e seu impacto na garantia dos direitos humanos à água e ao saneamento, incentivados pelo projeto de lei em tramitação. Além disso, identificar as posições de diferentes atores nos diferentes lados da discussão e as possíveis causas raízes para suas tomadas de posição.	Os discursos sobre a privatização do abastecimento de água e saneamento como instrumento de universalização são controversos. Os atores do setor privado e representantes do governo, alinhados à agenda neoliberal, apoiam a privatização. Já as organizações da sociedade civil defendem o aprimoramento da gestão pública como caminho para a universalização.

Fonte: Autor (2025).

A análise das produções permitiu constatar que os principais assuntos abordados foram: a água, saneamento e higiene (WASH, do inglês water, sanitation, and hygiene) e sua relevância para a saúde, a análise da relação entre o saneamento básico e o coronavírus (Covid-19), a epidemiologia baseada em águas residuais (WBE, do inglês wastewater-based epidemiology) e as mudanças mais significativas implementadas pela Lei federal nº 14.026/2020, bem como as diferentes perspectivas de sua aplicação prática.

Os estudos feitos por Bandara *et al.* (2024) revelaram que os fatores WASH são importantes para reduzir a incidência de COVID-19, principalmente em regiões rurais. Dentre

esses fatores, o saneamento básico, particularmente as instalações sanitárias compartilhadas, foram os mais relevantes. Além disso, enfatizaram a importância do WASH como um indicador de incidência de COVID-19, destacando a necessidade de seu aprimoramento para permitir o alcance de metas sustentáveis de prevenção de doenças e preparação para crises sanitárias e pandemias.

É oportuno frisar ainda que a COVID-19 está predominantemente associada ao aumento de infecções secundárias, ressaltando a necessidade crucial de promover a educação em saúde, melhorar o saneamento básico e garantir o acesso aos serviços de saúde como componentes cruciais no combate ao aumento de infecções parasitárias, especialmente aquelas relacionadas às patologias virais (Caitano *et al.*, 2024).

Silveira *et al.* (2025), apontaram em seu estudo na comunidade periférica da Maré, que a ausência de serviços essenciais, como abastecimento regular de água, coleta de esgoto e manejo adequado de resíduos sólidos, evidencia a exclusão histórica dessa comunidade das políticas públicas. Além disso, problemas como esgoto a céu aberto, coleta irregular de resíduos sólidos e a contaminação de fontes de água agravam problemas como a proliferação de doenças infecciosas e parasitárias, especialmente em áreas densamente povoadas.

Durante o período da pandemia da COVID-19, os moradores sofreram com a falta d'água, o que impediu a adoção de práticas básicas de higiene, como lavar as mãos e alimentos. No Complexo da Maré, a precariedade do saneamento básico impacta diretamente a saúde pública, aumentando casos de doenças como hepatite “A”, diarreia e leptospirose, especialmente durante períodos de chuva, quando ocorrem transbordamentos das galerias pluviais, ampliando a vulnerabilidade social (Silveira *et al.*, 2025).

Moelyaningrum *et al.* (2023) realizaram estudos interativos sobre o WASH e as doenças correlatas no contexto escolar. O saneamento nas escolas foi identificado em termos de abastecimento de água, abastecimento de água potável, banheiros, instalações sanitárias, banheiro/latrina, instalações para lavagem das mãos, política de limpeza, banheiro limpo e funcional, programas de higiene e conhecimento sobre saneamento. Oportunamente, constataram que o saneamento deficiente estava associado a impactos negativos à saúde, como doenças gastrointestinais, diarreia, cólera, desidratação, cáries, desnutrição, nanismo, helmintos transmitidos pelo solo, infecção parasitária intestinal, dor de dente, ausência de cáries, estado de dentes permanentes obturados e estado de saúde dos alunos.

Ademais, de acordo com Amoah *et al.* (2021), a contaminação de superfícies de contato com SARS-CoV-2, inclusive assentos dos vasos sanitários e pisos dos banheiros, foi relatada como uma via potencial para a transmissão do vírus. Assim, atenção especial deve ser dada aos

locais onde o acesso ao saneamento básico é deficiente, especialmente nas situações em que as instalações sanitárias são compartilhadas.

O saneamento básico, como a proporção de água potável segura, também teve um impacto considerável na epidemia de COVID-19. Isso porque a proporção de água potável segura em recursos básicos de saúde está relacionada à morbidade e mortalidade cumulativas da COVID-19, o que pode estar relacionado ao fato de que a lavagem das mãos pode reduzir o número de vírus nas mãos e ser eficiente para prevenção e controle. Assim, serviços básicos de limpeza são um pré-requisito para a prevenção e o controle de infecções (Liu et al., 2022).

Mugambe *et al.* (2025) dispõem aspectos relevantes quanto a previsão e controle de infecções (PCI) e ao WASH, com ênfase nas unidades de saúde. Nesse sentido, destacaram a necessidade urgente de melhor suporte e investimento em suprimentos e infraestrutura de PCI/WASH para melhorar o controle de infecções e os resultados de saúde pública em Uganda (África).

Outro ponto é a necessidade de equilíbrio e melhorias paralelas entre as vertentes que compõem o saneamento básico: de água, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Tal panorama decorre de uma inerente interação entre essas vertentes, inclusive considerando o risco de contaminações cruzadas. Essa situação é exemplificada no caso do saneamento das casas residenciais no córrego da nascente Cokro Klaten (Indonésia), que atenderam ao cumprimento do fornecimento de água limpa, porém quanto a disponibilidade de banheiros, instalações de gerenciamento de resíduos e descarte de águas residuais os requisitos básicos de saneamento não foram cumpridos (Asyřiradayati *et al.*, 2024).

É pertinente considerar ainda que, diante de toda a importância do saneamento básico para a qualidade de vida, dignidade do ser humano e saúde pública, as desigualdades sociais agravam ainda mais as deficiências desse setor e alarmam especialmente para grupos em vulnerabilidade socioeconômica, como população de baixa renda, refugiados e migrantes. Hall et al. (2020) destacaram que pessoas cujos direitos humanos são menos protegidos, como mulheres, meninas e pessoas marginalizadas, sofrem mais com as deficiências de saúde, especialmente em um contexto extremo, a exemplo da pandemia da COVID-19. Ademais, refugiados e migrantes correm um risco potencialmente maior de contrair doenças, incluindo a COVID-19, porque normalmente vivem em condições de superlotação, sem acesso a serviços básicos de saneamento (Kluge *et al.*, 2024).

A epidemiologia baseada em águas residuais (WBE) é uma abordagem eficaz para a identificação e o monitoramento precoces das tendências temporais e geográficas do SARS-

CoV-2 e requer um esforço colaborativo para ter êxito. Portanto, é uma valiosa ferramenta complementar de vigilância para subsidiar a resposta da saúde pública ao longo das pandemias, para adaptar medidas de contenção e mitigação e para direcionar testes para populações-alvo. Nesse âmbito, a validação e a harmonização dos métodos de amostragem e análise são essenciais para melhorar a comparabilidade e garantir resultados precisos e reprodutíveis (Oliveira *et al.*, 2020).

Outrossim, os custos associados, capacidade desenvolvida, transparência e a responsabilização aparecem como catalisadores para a realização da WBE. Não obstante, os recursos disponíveis devem ser considerados dentro dessa perspectiva para uma implementação acessível, sustentável e satisfatória da WBE em países de alta, média e baixa renda. Alternativamente, os rios poluídos por descarte de resíduos e lançamento de esgoto poderiam ser usados como fonte para vigilância ambiental (Oliveira *et al.*, 2020).

De acordo com a produção de Odih *et al.* (2020), na ausência de saneamento básico ou em sua má vigilância, as águas subterrâneas, frequentemente captadas de poços e perfurações para consumo humano e doméstico, podem ser contaminadas com bactérias e vírus entéricos provenientes da matéria fecal. Ademais, a transmissão endêmica e epidêmica de múltiplos patógenos fecal-oral por essa via continua sendo documentada em áreas sem saneamento seguro e, por conseguinte, o risco de transmissão do SARS-CoV-2 precisa ser avaliado, rastreado e prevenido nesses cenários. Além disso, a vigilância ambiental do SARS-CoV-2 em águas residuais e dejetos humanos acumulados, bem como os esforços para mitigar a entrada do vírus em fontes de água domésticas desprotegidas, devem ser componentes prioritários na resposta à COVID-19 em locais sem saneamento seguro durante toda a crise sanitária de saúde pública.

No que se refere à legislação, Tavares *et al.* (2024) relataram que a Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020a) já aponta uma fragilização do poder público municipal no setor com a proposta de regionalização “sentenciada” pelo governo estadual, porém há ainda restrições para que os municípios se capacitem na busca por melhorias nos serviços ofertados à população, tendo em vista que se impede o acesso aos recursos e ao apoio técnico, limitados em caso de não adesão à regionalização, conforme o Decreto nº 10.588/2020.

Apesar da articulação das forças privatistas em prol da neoliberalização ser forte, não se pode deixar de revelar os conflitos existentes e lutar para que a apropriação e a gestão dos recursos e serviços ocorram na perspectiva da equidade, da justiça e da efetiva universalização. Para isso, é necessário que a academia e os representantes da sociedade civil participem na construção de tais respostas com o acompanhamento dessa nova realidade no setor, levando os interesses da população ao palco de discussões (Tavares *et al.*, 2024).

Corroborando com essa perspectiva, Silva *et al.* (2023) concluíram que os posicionamentos sobre a privatização do abastecimento de água e saneamento como instrumento de universalização são controversos. Atores do setor privado e representantes do governo, alinhados à agenda neoliberal, apoiam a privatização. Organizações da sociedade civil, por sua vez, defendem o aprimoramento da gestão pública como caminho para a universalização. Nessa ótica, é importante salientar ainda a complexidade de gerenciar crises sanitárias potencializadas por deficiências no setor de saneamento básico, dentro de uma estrutura de governança descentralizada, lançando luz sobre a interação entre decretos governamentais, dinâmica institucional e a implementação de estratégias de saúde pública (Brito *et al.*, 2024).

As deficiências dos serviços de saneamento básico de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário são inegavelmente significativas no Brasil. As carências são mais pronunciadas nos pequenos municípios, nas periferias das cidades e, notadamente, no meio rural, principalmente junto àqueles extratos populacionais de menor escolaridade e renda, que também são carentes de outros serviços públicos essenciais, como saúde, educação e habitação. Esse panorama, por sua vez, exige uma abordagem diferenciada entre os meios urbanos, onde predominam as grandes estruturas, redes de coleta e estações de tratamento, e os meios rurais, que além de infraestruturas compatíveis, necessitam de tecnologias apropriadas, adequadas às múltiplas realidades, contemplando soluções descentralizadas e até mesmo individualizadas (Marcon e Júnior, 2024).

A abordagem proposta por Reis *et al.* (2023), considerando a análise feita para o estado do Rio de Janeiro, aponta que a concessão à iniciativa privada tem mantido o reduzido provimento do serviço de coleta de esgoto, abastecimento da população de baixa renda e o aumento dos valores da tarifa. Ademais, salientaram que independentemente do perfil dos atores envolvidos, como governos, investidores, setor privado e bancos, é imperiosa a necessidade de adotar uma gestão de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário que priorize a população vulnerável dos municípios, garantindo-lhes direitos essenciais à sobrevivência.

4 CONCLUSÕES

A presente revisão sistemática evidenciou uma relação significativa entre o saneamento básico, a pandemia de COVID-19 (SARS-CoV-2) e os impactos decorrentes da Lei nº 14.026/2020, demonstrando que a ausência ou a precariedade dos serviços de água, esgoto,

manejo de resíduos e drenagem urbana agravou os efeitos da crise sanitária, especialmente entre populações em situação de vulnerabilidade social.

Os estudos analisados reforçam que os fatores WASH (água, saneamento e higiene) são determinantes na prevenção e no controle da COVID-19, influenciando diretamente nos índices de morbidade e mortalidade, sobretudo em comunidades periféricas, zonas rurais e escolas públicas. A falta de infraestrutura adequada nessas regiões inviabilizou a adoção de medidas básicas de higiene, contribuindo para a disseminação do vírus e outras enfermidades de veiculação hídrica.

A epidemiologia baseada em águas residuais (WBE) demonstrou ser uma ferramenta promissora na vigilância ambiental do SARS-CoV-2, possibilitando a antecipação de surtos e o direcionamento mais eficiente de ações de saúde pública. Contudo, sua implementação exige investimentos em infraestrutura, capacitação técnica e governança integrada, o que ainda constitui um desafio, especialmente em países de baixa e média renda.

No âmbito legal, a Lei nº 14.026/2020 e seus dispositivos de regionalização e incentivo à privatização dos serviços de saneamento suscitam debates importantes quanto à capacidade dos municípios de manter autonomia e garantir a universalização dos serviços com equidade. Embora haja promessas de eficiência associadas à iniciativa privada, os resultados até então observados indicam aumento das tarifas e manutenção de deficiências estruturais, sobretudo em áreas de menor interesse econômico. Oportunamente, a aplicabilidade dessa legislação traz controvérsias e desafios entre as partes envolvidas e as particularidades locais, devendo levar em consideração as peculiaridades regionais e uma articulação harmônica entre governo, população, investidores, setor privado e instituições financeiras.

Em síntese, a pandemia escancarou as desigualdades preexistentes no acesso ao saneamento básico no Brasil, tornando urgente a formulação e implementação de políticas públicas estruturantes, que considerem as diferentes realidades territoriais e sociais, priorizem a saúde coletiva e garantam o direito humano ao saneamento e à água potável. A integração entre ciência, sociedade civil e Estado se mostra essencial para assegurar uma gestão justa, participativa e eficaz desses serviços, tanto em tempos de crise quanto em períodos de normalidade.

5 REFERÊNCIAS

AGUIAR-OLIVEIRA, M. DE L. *et al.* Wastewater-Based Epidemiology (WBE) and Viral Detection in Polluted Surface Water: A Valuable Tool for COVID-19 Surveillance—A Brief

Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 24, p. 9251, 10 dez. 2020. DOI:10.3390/ijerph17249251.

ALMEIDA, S. B. S.; OLIVEIRA, P. B.; SOUZA, A. M. N.; SOUZA, I. L. L. A relação entre a falta de saneamento básico, o aumento das doenças infecciosas e dos gastos públicos: revisão sistemática de literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 01-16, 12 mar. 2024. <https://DOI:10.34119/bjhrv7n2-090>.

AMOAHI, I. D.; PILLAY, L.; DEEPNARIAN, N.; AWOLUSI, O.; PILLAY, K.; RAMLAL, P.; KUMARI, S.; BUX, F. Detection of SARS-CoV-2 RNA on contact surfaces within shared sanitation facilities. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 236, p. 113807, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113807>.

ASYFIRADAYATI, R. *et al.* Environmental Analysis of Basic Sanitation Quality of Residential Houses in Cokro Spring Stream Central Java, Indonesia. **IOP Conference Series Earth and Environmental Science**, v. 1357, n. 1, p. 012023–012023, 1 jun. 2024. DOI: 10.1088/1755-1315/1357/1/012023.

BANDARA, S. *et al.* Identification of environmental, socioeconomic, water, sanitation, and hygiene (WaSH) factors associated with COVID-19 incidence in the Philippines: A nationwide modelling study. **Science of The Total Environment**, v. 946, p. 174214, 22 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174214>.

BANDARA, S. *et al.* Quantitative evaluation of water, sanitation, and hygiene measures on COVID-19 pandemic peak reduction in the Philippines. **Science of The Total Environment**, v. 949, p. 175055, 25 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175055>.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário oficial da união, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 03 mai. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário oficial da união, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 05 mai. 2025.

BRITO, L. *et al.* Effects of government decrees on covid-19 mortality rates in southern brazil. **Fiep Bulletin - online**, v. 94, n. 1, p. 310–325, 30 jan. 2024. DOI: 10.16887/fiepbulletin.v94i1.6819.

CAITANO, N. V. *et al.* Análise comparativa da incidência de enteroparasitoses e do perfil pandêmico da COVID-19 na cidade de Bananeiras - PB. **Semina Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 45, n. 1, p. 45–56, 26 abr. 2024. DOI: 10.5433/1679-0367.2024v45n1p45.

HALL, K. S. *et al.* Centring sexual and reproductive health and justice in the global COVID-19 response. **The Lancet**, v. 395, n. 10231, p. 1175–1177, 11 abr. 2020.

KLUGE, H. H. P. *et al.* Refugee and migrant health in the COVID-19 response. **The Lancet**, v. 395, n. 10232, p. 1237–1239, 18 abr. 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30791-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30791-1).

LIU, Y. *et al.* What matters: non-pharmaceutical interventions for COVID-19 in Europe. **Antimicrobial Resistance & Infection Control**, v. 11, n. 1, 9 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13756-021-01039-x>.

MARCON, A. M.; WESZ JUNIOR, V. J. The “new” legal framework and the universalization of basic sanitation in rural areas. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, p. 1–30, 27 nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202441en>.

MOELYANINGRUM, A. D. *et al.* School sanitation and student health status: a literature review. **Journal of Public Health in Africa**, 25 maio 2023. DOI:10.4081/jphia.2023.2540.

MUGAMBE, R. K. *et al.* Infection prevention and control and water, sanitation, and hygiene status of healthcare facilities in the Greater Kampala Metropolitan region during the COVID-

19 pandemic in Uganda. **PLOS water**, v. 4, n. 1, p. e0000189, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000189>.

ODIH, E. E. *et al.* Could Water and Sanitation Shortfalls Exacerbate SARS-CoV-2 Transmission Risks? **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 103, n. 2, p. 554–557, 5 ago. 2020. DOI:10.4269/ajtmh.20-0462.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Saneamento, 2024**. Disponível em: <http://https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>. Acesso em: 26 abril de 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Painel da OMS COVID-19, 2024**. Disponível em: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c>. Acesso em: 27 abril. 2025.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics, Springer Science and Business Media LLC.**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. M. de. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 161-187, 2017.

REIS, F. DE C. M. *et al.* Social effectiveness and private sanitation concessions: the CEDAE auction in Rio de Janeiro, Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, n. 2, p. 547–559, fev. 2023. DOI: 10.1590/1413-81232023282.08982022EN.

RODRIGUES, M. *et al.* Sanitation Challenges in the Complexo da Maré. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. e010879–e010879, 21 jan. 2025. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-081>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO- SNIS, **Painel 2022/2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>. Acesso em: 07 abril. 2025.

SILVA, P. N; BRAGA, J.G.; HELLER, L. Different positions in society, differing views of the world: the privatization of water and sanitation services in Minas Gerais, Brazil. **Frontiers in Sustainable Cities** v. 5, 18 maio 2023. DOI: 10.3389/frsc.2023.1165872.

TAVARES, É.; SANTOS, J.; FREDERICO, C. Transformations in the sanitation sector in the State of Rio de Janeiro: neoliberalism and regulatory changes. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, p. 1–26, 20 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.22296/23171529.rbeur.202402en>.

APÊNDICE D – Carta do demandante

01/10/2024, 08:14

SEI/IFCE - 6552577 - Carta



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. Dr. Guarani, nº 317, - Bairro Jocely Dantas de Andrade Torres - CEP 62042-030 - Sobral - CE - www.ifce.edu.br

CARTA

CARTA DE INTERESSE DO DEMANDANTE

Eu, Daniele Maria Alves Teixeira Sá, chefe do Departamento de Extensão, Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (DEPPI), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *campus Sobral*, declaro o nosso apoio à proposta de Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação – PROFNIT com o título Análise das principais tecnologias relacionadas ao reuso de água no Brasil, potencialmente aplicáveis ao estado do Ceará, a ser desenvolvido pelo mestrando Lucas Daniel de Carvalho Santos, matriculado no Ponto Focal Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *campus Fortaleza*, sob a orientação da professora titular Glória Maria Marinho Silva. O interesse nesse projeto se justifica pelo Departamento está responsável pelo Centro de Inovação Tecnológica (CIT-IFCE-Sobral) e nele está o Setor de Sustentabilidade do Campus que tem total aderência ao tema proposto.

Sobral, 01/10/2024

*(Assinado Eletronicamente)***Daniele Maria Alves Teixeira Sá****Chefe do Departamento de Extensão, Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (DEPPI)****Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *campus Sobral*****CPNJ 10.744.098/0001-45**

Documento assinado eletronicamente por **Daniele Maria Alves Teixeira Sa, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 01/10/2024, às 08:13, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **6552577** e o código CRC **70EB14D5**.

APÊNDICE E – Produto técnico-tecnológico

**TECNOLOGIAS RELACIONADAS
AO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL
APLICÁVEIS AO ESTADO DO
CEARÁ**

Lucas Daniel de Carvalho Santos

**Fortaleza
2025**

TECNOLOGIAS RELACIONADAS AO REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL APLICÁVEIS AO ESTADO DO CEARÁ

Lucas Daniel de Carvalho Santos

Glória Maria Marinho Silva

Kelly de Araújo Rodrigues

Lívia de Oliveira Lima

Maria Benedita Lopes Rocha

Marcus Vinícius Freire Andrade

FORTALEZA

2025

Ficha catalográfica

FICHA TÉCNICA**Autor**

Lucas Daniel de Carvalho Santos

Coautores

Glória Maria Marinho Silva

Kelly de Araújo Rodrigues

Lívia de Oliveira Lima

Maria Benedita Lopes Rocha

Marcus Vinícius Freire Andrade

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, à minha esposa Livia, à minha mãe Lúcia, ao meu irmão Thiago e à minha tia Rosemilia (in memoriam). Essa conquista é nossa, saibam que somente com todo o suporte, incentivo e amor de vocês foi possível chegar até aqui. Obrigado por tanto, amo vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me permitido cumprir essa jornada tão improvável e desafiadora, sempre me guiando em segurança nos caminhos pessoais e profissionais.

À minha amada esposa Livia, pelo apoio incondicional, paciência, incentivo e amor durante toda essa jornada. Essa vitória não seria possível sem você e é mais uma das inúmeras conquistas que ainda teremos juntos por toda a nossa vida.

À minha mãe, Lúcia, e ao meu irmão, Thiago, por sempre terem acreditado no meu potencial e nunca terem poupado esforços e recursos em prol do meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À professora Dr^a. Glória Maria Marinho Silva, grande referência profissional, por todos os conhecimentos repassados, pelas valiosas contribuições durante o mestrado e pela prontidão em ajudar sempre.

Ao professor Dr. Marcus Vinicius Freire Andrade, colega de trabalho e amigo, pelo conhecimento, auxílio e apoio prestados sempre com muita presteza.

À minha cunhada Cíntia, pelo suporte dado na cidade de Fortaleza sempre que precisei. À família da minha esposa Livia, pelo amor e carinho que sempre me deram.

Ao PROFNIT, pela oportunidade de acesso a recursos fundamentais para a minha dissertação, como a plataforma *Orbit Intelligence*.

Aos colegas de turma, professores e profissionais do PROFNIT (2024.1), que fizeram essa caminhada ser única e inesquecível.

À minha tia Rosemilia (*in memoriam*), que contribuiu grandemente para meu desenvolvimento como estudante e como pessoa, sempre me ensinando os valores corretos e que a educação era o melhor caminho a ser seguido.

Ao meu irmão Vinícius, pelos cuidados quando criança e adolescente.

Aos meus familiares e amigos, que sempre me apoiaram e torceram por mim, ajudando na minha formação como pessoa e como profissional.

Ao meu pai Reginaldo (*in memoriam*), por ter feito parte da minha concepção humana.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	07
2	REÚSO DE ÁGUA NA LITERATURA	10
	2.1 Estado da técnica	10
	2.2 Artigos científicos	20
	2.3 Tecnologias atuais e emergentes	20
3	REÚSO DE ÁGUA EM PATENTES	60
	3.1 Patentes e transferência de tecnologia	60
	3.2 Pesquisa patentária	62
	3.3 Panorama tecnológico	66
4	REÚSO DE ÁGUA NA MATRIZ EMPRESARIAL	84
	4.1 Empresas e sustentabilidade hídrica	84
	4.2 Mapeamento de empresas	87
	4.3 Panorama empresarial	88
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	96
	REFERÊNCIAS	98

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos vem enfrentando grandes desafios, como a elevação da demanda de água em função do crescimento populacional e da mudança nos hábitos de consumo, além do agravamento das secas como consequência das mudanças climáticas. O Brasil, apesar da falsa percepção de abundância hídrica, apresenta extensa área territorial em clima semiárido, incluindo o estado do Ceará, assim como grandes centros urbanos com demandas de água superiores às ofertas. Além disso, sofre com a distribuição desigual de maior contingente populacional em áreas com menor disponibilidade hídrica, a exemplo do estado de São Paulo (Santos *et al*, 2025).

Nesse cenário, os mananciais superficiais e subterrâneos, que são as fontes de água convencionais, se tornam insuficientes para o desenvolvimento socioeconômico e geram um ambiente de insegurança hídrica, principalmente para a produção de alimentos (agricultura irrigada), para a cadeia produtiva de bens consumíveis (indústria) e para as necessidades básicas da sociedade (abastecimento doméstico). Por essas razões, as fontes de água de origem alternativa aparecem como um importante instrumento para a diversificação da matriz hídrica. Dentre as principais fontes de água de origem alternativa, a água para reúso, proveniente das águas residuárias tratadas, vem sendo amplamente adotada no mundo (Santos *et al*, 2025).

O reúso de água é uma prática sustentável, constituindo-se em uma estratégia para a conservação dos recursos hídricos e sua disponibilidade às gerações futuras. As principais categorias que compõem o reúso são: irrigação, aquicultura, finalidades ambientais, aproveitamento de águas de chuva, usos urbanos não potáveis (reúso direto não potável), usos industriais e reúso potável (Cetesb, 2024).

Ainda nesse contexto, o reúso de água é destaque entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Isso porque está diretamente relacionado em três metas - 6.3, 6.4 e 6.6a do ODS número 6, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento universalmente (Brasil, 2025). Esse ODS aborda de forma indissociável a temática do saneamento e higiene da água, tendo em vista que a

ausência destes pode propiciar a contaminação do solo, de rios, mares e fontes de água para abastecimento (Ferreira, 2024).

Nesse sentido, a meta “6.3” propõe a redução à metade da proporção de águas residuais não tratadas e um aumento substancial da reciclagem e reutilização segura globalmente. Por sua vez, a meta “6.4” preconiza aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez hídrica. Finalmente, a meta “6.6a” contempla a cooperação internacional, capacitação para as nações e programas relacionados à água e ao saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reúso (Brasil, 2025).

Por oportuno, o estado do Ceará é o oitavo mais populoso do país, com uma população estimada em 9.268.836 habitantes para o ano de 2025. Possui um total de cento e oitenta e quatro municípios e uma área territorial de 148.894,444 km² (IBGE, 2025). Em relação ao saneamento básico, o estado possui uma cobertura de abastecimento de água de 99,6 % da população. Contudo, em relação ao esgotamento sanitário apenas 83,8% da população tem acesso (SINISA, 2024).

Assim, o estado do Ceará também demanda por evolução na gestão hídrica e indicadores de saneamento básico, que estão aquém da universalização almejada, sendo o reúso de água de grande importância nessa conjuntura. Nessa perspectiva, este trabalho tem por objetivo analisar as principais tecnologias associadas ao reúso de água no Brasil e que possam ser implementadas no estado do Ceará.

O objetivo geral desse material didático foi analisar o panorama das tecnologias relacionadas ao reúso de água no Brasil, potencialmente aplicáveis ao estado do Ceará. Para tanto, foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- Determinar as tecnologias de reúso em alta e emergentes conforme a bibliografia mais recente;
- Analisar a situação dos depósitos de patentes sobre reúso de água no cenário mundial, sobretudo relacionada à participação do Brasil;
- Verificar o número de patentes de reúso de água no mundo e no país; avaliar a evolução de patentes relacionadas ao tema depositadas no Brasil nos últimos anos;
- Identificar as patentes mais relevantes de reúso de água no Brasil e no mundo;

- Mapear quais são as principais tecnologias de reúso de água em desenvolvimento protegidas por patentes, quais as áreas tecnológicas relacionadas e quais os principais depositantes envolvidos;
- Analisar documentalmente o cenário no Brasil, no Nordeste e no estado do Ceará da matriz empresarial com atividades que tenham relação com o reúso de água, conforme o setor, o porte, a localização e a subárea de atuação das empresas.
- Verificar os principais entraves para o reúso de água no Brasil.

2. REÚSO DE ÁGUA NA LITERATURA

2.1 ESTADO DA TÉCNICA

2.1.1 Contextualização e conceito

O reúso de água consiste na prática de utilização de águas residuárias no meio urbano ou no meio rural, com o requisito primordial de adequação da sua qualidade ao uso pretendido, sempre com base na segurança sanitária-ambiental (Santos *et al.*, 2025). Por sua parte, o processo de reúso interno da água (no local onde é gerada), antes de sua descarga no sistema de tratamento, diretamente ao ponto de reúso, é chamado de reciclagem (Cetesb, 2024).

É importante destacar que as fontes potenciais para geração de água de reúso podem incluir efluentes de alguns processos industriais e de refrigeração, dessalinização da água do mar e das águas salobras subterrâneas, águas pluviais e de escoamento agrícola, reutilização de águas cinzas (águas do banho ou da lavagem que não contêm alimentos concentrados ou dejetos humanos) e esgotos sanitários tratados dos sistemas públicos de esgotamento sanitário. Essa última é considerada a fonte mais confiável e significativa em comparação com as demais fontes (Cetesb, 2024).

No que se refere às terminologias adotadas, destaca-se que o termo "reutilização da água" é mais recente do que o termo "reutilização de águas residuais". De fato, as águas residuais são sempre utilizadas (e não reutilizadas) indiretamente, pois são lançadas em corpos d'água a montante das comunidades, de onde serão captadas para tratamento e distribuição, o que caracteriza o reúso potável indireto. Portanto, quando a intenção é recuperar ou reciclar água de águas residuais, o termo mais abrangente é "reutilização da água" (Santos *et al.*, 2024).

Ademais, no caso específico da irrigação agrícola, quando nutrientes são utilizados juntamente com água para fertilização, o termo "reutilização de águas residuais" é mais apropriado. Todavia, atualmente o termo "reutilização da água", em sentido amplo, tem sido mais amplamente adotado no contexto da aplicação direta da prática, em que a água é reciclada ou recuperada de águas residuais tratadas. Além

disso, o termo "reutilização de águas residuais" pode contribuir para a rejeição da prática, enquanto "reutilização da água" pode aumentar sua aceitação (Santos *et al.*, 2024).

A utilização de efluente tratado é uma prática que carrega intrinsecamente riscos para a saúde pública e para o meio ambiente. Conhecida como simplesmente reúso de água, a prática encontra grande potencial de aplicação nas regiões mais afetadas pela seca, a partir de uma estruturação de mecanismos legais para a utilização racional e em segurança (Santos; Lima, 2022).

Na perspectiva dos riscos relacionados ao reúso de água, a Organização Mundial da Saúde (OMS) sugere várias abordagens de avaliação de risco que podem responder a diferentes necessidades de gestão. Estas são modelos qualitativos e semiquantitativos ou métodos matemáticos quantitativos, além da inspeção sanitária, que envolve uma abordagem simples e eficaz para pequenos sistemas. Todas as abordagens, de diferentes maneiras, estimam os possíveis riscos associados à prática de reutilização, para reduzi-los a um nível mínimo considerado aceitável. A avaliação quantitativa, conhecida pela sigla QMRA (Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico), combina o conhecimento científico sobre a presença e a natureza dos patógenos, seu potencial destino e transporte no ciclo da água e cenários de exposição referentes ao receptor e seus efeitos na saúde que resultam dessa exposição (OMS, 2017).

Conforme dispõem Lima *et al.* (2022), a avaliação qualitativa ou semiquantitativa baseia-se na abordagem da matriz de risco, que permite avaliar diferentes riscos associados à qualidade da água, envolvendo uma análise da probabilidade de ocorrência da exposição a um determinado perigo e sua gravidade ou consequência, em caso de ocorrência.

A adoção de práticas que proporcionem uma melhor eficiência na gestão dos recursos hídricos, como a prática do reúso de água, é uma medida de enfrentamento à escassez hídrica. Esse reúso traz, entre outros benefícios, a consequente diminuição de despejos líquidos em corpos receptores, o aproveitamento de nutrientes e a liberação da água para utilização em fins mais nobres. (Damaceno; Cruvinel; Santos, 2023)

Nessa perspectiva, o desenvolvimento econômico e os conflitos pelo uso da água destacam-se no contexto da institucionalização da prática do reúso de água no Brasil. Quanto ao desenvolvimento econômico, a introdução da água de reúso na matriz hídrica regional ganha destaque e pode servir de impulsão para a produção de

alimentos tanto para consumo próprio como para comercialização, gerando movimentação econômica. Quanto aos conflitos pela água, o reúso de água tem papel fundamental na minimização de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas (Santos; Lima, 2022).

Assim, é preciso mudar o paradigma para orientar a tomada de decisões adequadas que permitam e incentivem avanços. Nesse âmbito, a circularidade da água, com seus fatores econômicos, ambientais, tecnológicos, sociais, institucionais e políticos, deve ser tomada como base para ações que definam políticas públicas apropriadas, no contexto da gestão eficiente dos recursos hídricos. Essas políticas devem seguir caminhos para a estruturação de marcos regulatórios adequados às diferentes características regionais, a fim de garantir uma prática de reúso de água segura, responsável, sustentável e economicamente viável. (Santos *et al.*, 2024)

2.1.2 Categorias

As possibilidades de utilização de água de reúso de maneira planejada podem ser divididas em duas grandes categorias: não-potável e potável. Os projetos de reúso de água destinam-se majoritariamente a aplicações não potáveis, que são: reúso agrícola para produtos não-comestíveis, reúso ambiental, reúso industrial, reúso recreacional com restrições, reúso municipal em áreas restritas, reúso municipal em áreas públicas, reúso recreacional sem restrições e reúso agrícola para produtos comestíveis. Outrossim, o reúso potável pode ser direto ou indireto, de forma que o indireto se subdivide em: reabastecimento de aquífero por injeção, reabastecimento de aquífero por infiltração e recarga de represa (ABES, 2015).

A prática do reúso também pode ser classificada em reúso indireto não-planejado da água, reúso indireto planejado da água, reúso direto planejado das águas e reciclagem de água. Em relação ao reúso de água para fins potáveis, o Brasil ainda não regulamentou a prática, tendo em vista que esta é associada a riscos de contaminação, devido à qualidade dos efluentes utilizados, que podem conter organismos patogênicos e contaminantes associados à origem do efluente, e compostos químicos que podem ser formados durante o tratamento ou que podem ser liberados do aquífero ou do sistema de distribuição (Carvalho, 2021).

As principais categorias de utilização da água de reúso são provenientes de sistemas públicos de esgotamento sanitário (Metcalf-Eddy *et al.*, 2007). As mais proeminentes na categoria de não-potável são reúso agrícola, industrial, municipal e recreacional/ambiental. A irrigação agrícola é, indiscutivelmente, a principal aplicação de reúso de água proveniente de esgotos domésticos tratados, seguida por usos industriais e urbanos (Angelakis *et al.*, 2018). Isso porque a agricultura é o setor que mais consome água no mundo e cujos requisitos de qualidade são, em grande parte, os mais fáceis de atingir (Metcalf-Eddy, 2003).

Nesse contexto, o reúso agrícola possui diversas vantagens, como a redução das pressões de captação de água nos mananciais e dos conflitos pelo uso da água, o gerenciamento e recuperação de nutrientes, entre outros fatores. Em que pese tais vantagens, além da elevada demanda por água desse setor no Brasil, a adoção da água para reúso na agricultura deve prezar pela qualidade, principalmente em irrigação de culturas consumidas cruas e de desenvolvimento rente ao solo, devido aos riscos potenciais para a saúde e o solo (Marques *et al.*, 2022).

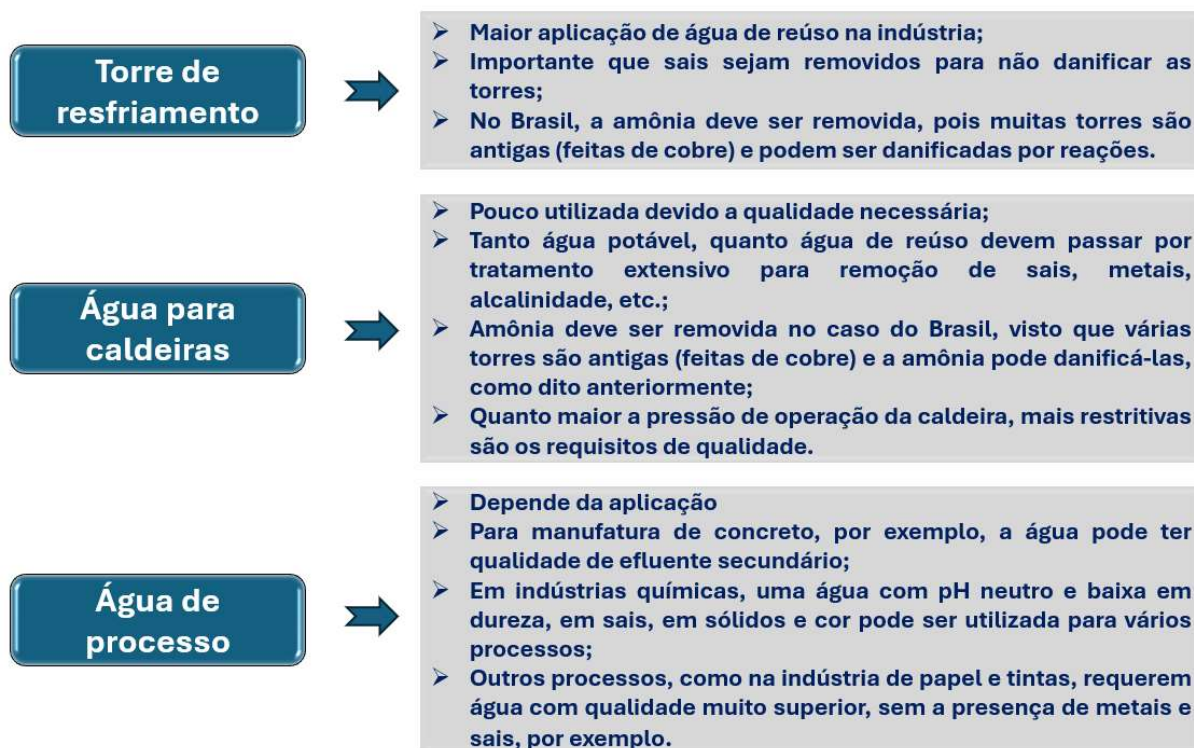
O reúso de água em ambientes urbanos contempla diversos fins, tais como lavagem de ruas, de pátios, de estacionamento e de veículos, combate a incêndio, desobstrução de galerias de águas pluviais e de esgoto, irrigação paisagística, construção civil e descarga de vaso sanitário. Não obstante, para o reúso aquícola, ocorre o cultivo de organismos aquáticos, como peixes, crustáceos, moluscos, entre outros, em ambientes controlados. Portanto, ao considerar o cenário da produção de alimentos, essa modalidade é relevante consequências para o meio ambiente no país como um todo (Santos; Lima, 2022).

O reúso de água no ambiente industrial pode ser feito a partir do efluente doméstico ou a partir do efluente industrial. No caso do efluente doméstico, pode ser proveniente da própria indústria, quando há separação das linhas de produção de efluentes, ou de uma estação de tratamento de efluentes municipal, operada pela prestadora de serviço de saneamento regional (CEBDS, 2022).

As principais finalidades de água de reúso na indústria são para resfriamento, processos, alimentação de caldeiras, transporte de material. A principal vantagem da utilização dessa fonte é a segurança no fornecimento, sobretudo quando as indústrias estão próximas aos grandes volumes de efluentes gerados nos centros urbanos. Também é importante considerar os requerimentos de qualidade de efluente tratado

para reúso industrial, além das normas que garantem a proteção da saúde (ABES, 2015). A Figura 1 mostra parâmetros a serem considerados nas principais aplicações industriais de reúso.

Figura 48 - Aplicações de reúso de água na indústria



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

O reúso industrial apresenta peculiaridades desse setor, como tipologias e processos distintos, de forma que as quantidades consumidas podem variar amplamente. Ademais, aplica-se o reúso interno no qual a produção da água para reúso pode ser consequência de atividades que ocorrem nas instalações internas do próprio pátio industrial. Oportunamente, é necessário obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina (Santos; Lima, 2022).

2.1.3 Tecnologias de produção de água para reúso

As tecnologias de produção de água para reúso estão diretamente ligadas ao tratamento de esgoto. As diferentes operações e processos que perfazem a tecnologia de tratamento de esgoto distinguem-se em função de seus propósitos, dos mecanismos

em que se baseiam, da tipologia do reator que empregam, do respectivo grau de mecanização, das áreas ocupadas, dentre outros fatores (Santos; Mota Filho, 2022).

Atualmente existem variadas tecnologias de tratamento de esgoto utilizadas no Brasil, devido a um conjunto de fatores como: variação da composição do esgoto gerado, destino do efluente tratado, aspectos climáticos, questões socioeconômicas, disponibilidade de área, proximidade da ETE a aglomerados urbanos, além de custos de implantação, operação e manutenção (dos Santos, 2019).

Apesar da grande diversidade, cerca de 37% das ETEs no Brasil empregam reatores anaeróbios em seu fluxograma de tratamento, sobretudo os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (ANA, 2021). Isso porque possuem vantagens pela elevada concentração de biomassa, baixa demanda de área, baixo custo de implantação e operação, ausência de consumo de energia elétrica no reator e geração de biogás (Santos; Mota Filho, 2022).

Contudo, limitações de desempenho desses reatores em relação à remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos têm inviabilizado o uso isolado da tecnologia, sendo necessária uma etapa de pós-tratamento que confira ao efluente uma qualidade suficiente para lançamento em corpos de água, mesmo em termos de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), ou até mesmo quando o objetivo principal é o reúso (Santos; Mota Filho, 2022).

Nesse sentido, devido aos avanços tecnológicos nas duas últimas décadas, várias opções de tratamento surgiram, sendo outras aperfeiçoadas para o aumento das remoções dos constituintes presentes nos esgotos, e para a diminuição dos custos de investimento e operacionais. Dentro desse rol de tecnologias, são destacadas as lagoas de alta taxa (LAT), lodo granular aeróbio (LGA), membranas dinâmicas pós-reator UASB e sistemas com meio suporte baseado em espuma de poliuretano pós-reator UASB (Santos; Mota Filho, 2022).

A Figura 2 traz uma comparação entre as principais tecnologias de tratamento biológico empregadas no Brasil, avaliando os aspectos de desempenho (eficiência) e de demanda de recursos.

Figura 49 - Eficiências de tratamentos biológicos de esgoto convencionais e emergentes

Sistema	Qualidade média efluente (concentrações mg-L ⁻¹)					Eficiências (%)		
	DQO	NH ₄ ⁺	N-total	P-total	SST	DQO	N-total	P-total
Lagoa de alta taxa (LAT)	110 a 180	< 5	> 15	> 5	80 a 120	65 a 75	< 30	< 35
LAT + Decantador	90 a 120	< 5	> 15	> 4	60 a 90	75 a 85	< 35	< 40
UASB + LAT ¹⁾	100 a 150	10 a 15	> 20	> 3	100 a 130	60 a 80	< 40	< 50
UASB + LAT + Decantador	80 a 100	< 10	> 20	> 3	70 a 100	80 a 90	< 45	< 55
Lodo granular aeróbio	< 30	< 5	< 5	< 2	0 a 20	90 a 99	> 90	> 75
UASB + Membrana dinâmica	60 a 100	> 15	> 20	> 4	10 a 20	60 a 90	< 60	< 35
Reator UASB + FBP-espuma (remoção de matéria orgânica) ²⁾	60 a 90	> 15	> 20	> 4	30 a 50	75 a 85	-	-
Reator UASB + FBP-espuma (remoção de NH ₄ ⁺) ²⁾	< 40	< 10	> 15	> 4	< 25	> 85	30 a 65	< 35
UASB + LA	60 a 150	5 a 15	> 20	> 4	20 a 40	75 a 88	< 60	< 35
UASB + FBAS	60 a 150	5 a 15	> 20	> 4	20 a 40	75 a 88	< 60	< 35
UASB + FBP	70 a 180	> 15	> 20	> 4	20 a 40	75 a 88	< 60	< 35
LA convencional	45 a 120	< 5	> 20	> 4	20 a 40	80 a 90	< 60	< 35
LA aeração prolongada	30 a 100	< 5	> 20	> 4	20 a 40	83 a 93	< 60	< 35
LA batelada	30 a 100	< 5	> 20	> 4	20 a 40	83 a 93	< 60	< 35
LA convencional com remoção biológica de N	45 a 120	< 5	< 10	> 4	20 a 40	80 a 90	> 75	< 35
LA convencional com remoção biológica de N e P	45 a 120	< 5	< 10	1 a 2	20 a 40	80 a 90	> 75	> 75
MBR Aeróbio	< 30	< 5	1 a 4	2 a 5	0 a 5	90 a 95	> 75	> 70

Legenda: LAT - Lagoa de alta taxa; LGA - Lodo granular aeróbio; UASB - Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo; LA - Lodos ativados; FBAS - Filtro biológico aerado submerso; FBP - Filtro biológico percolador; MBR - Biorreatores de membrana; DQO - Demanda química de oxigênio; NH₄⁺ - Nitrogênio amoniacal; N-total - Nitrogênio total; P-total - Fósforo total; SST - Sólidos suspensos totais.

Notas: ¹⁾Qualidade do efluente e desempenho sem o uso de decantadores secundários (VASSALLE *et al.*, 2020). ²⁾Qualidade do efluente e desempenho sem o uso de decantadores secundários (ALMEIDA *et al.*, 2022).

Fonte: Adaptado de Santos e Mota Filho, 2022.

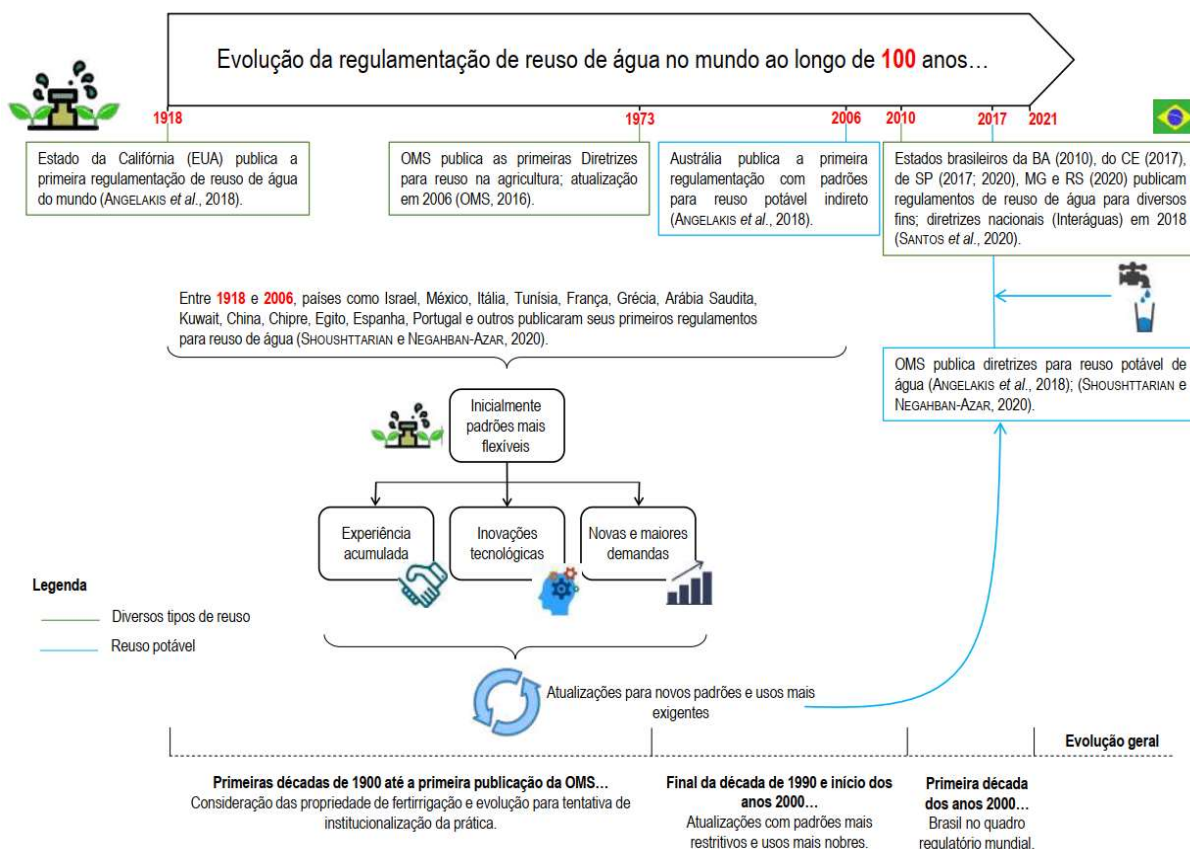
2.1.4 Legislação aplicável

Quanto à regulamentação da prática de reúso no mundo, destaca-se que iniciou em 1918 na Califórnia (EUA), considerando a aplicação de efluentes tratados em culturas não consumidas cruas (Angelakis *et al.*, 2018). Mais adiante, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou suas primeiras diretrizes relacionadas ao reúso de água para irrigação em 1973, e somente em 2006 publicou suas diretrizes para o reúso de água na agricultura. Finalmente, em 2017, com base na metodologia *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA) a OMS estabeleceu um guia para produzir água potável a partir do reúso (OMS, 2017).

Outrossim, diante das experiências adquiridas, a evolução das tecnologias capazes de produzir água de melhor qualidade e o aumento da demanda para usos cada vez mais nobres, as regulações foram sofrendo atualizações no sentido de

apresentarem padrões mais restritivos, especialmente para usos mais nobres como o uso potável. A Figura 3 mostra a evolução regulatória do reúso de água (Santos; Lima, 2022).

Figura 50 - Evolução regulatória do reúso de água



Fonte: Adaptado de Santos e Lima, 2022.

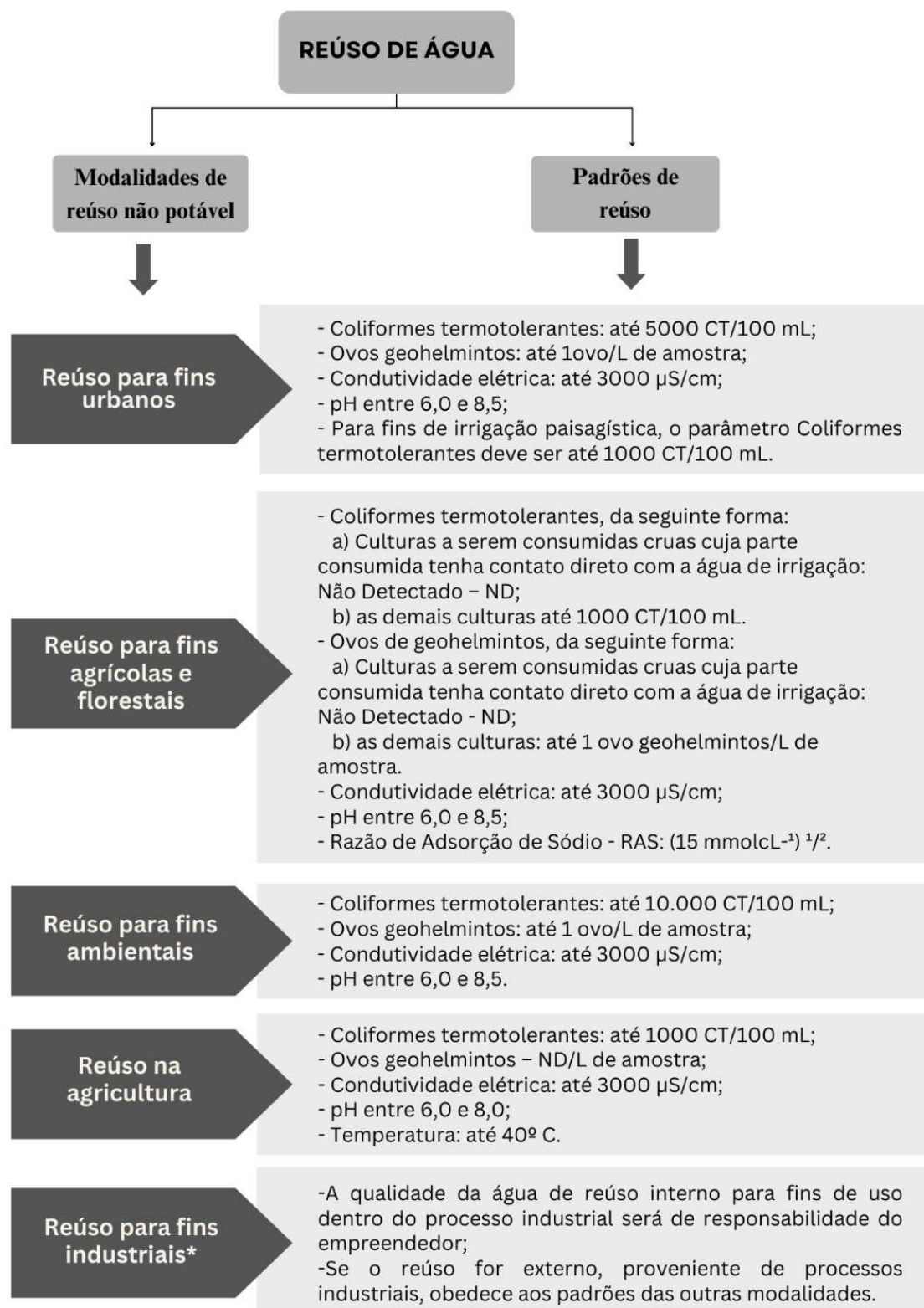
No que se refere à legislação em nível nacional, o Brasil conta com duas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e uma resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A CNRH nº 54/2005 estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água (BRASIL, 2005), enquanto a Resolução CNRH nº 121/2010 estabelece diretrizes e critérios específicos para a modalidade agrícola e florestal (BRASIL, 2010). Ambas estimulam a prática, porém não definem critérios de qualidade sanitária. Não obstante, a Resolução CONAMA nº 503/2021 (BRASIL, 2021) é bastante específica e define critérios e procedimentos para o reúso de água somente em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias (Santos *et al.*, 2025).

Ainda nesse âmbito, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a NBR 16.783/2019 com orientações diretas para reúso de água não potável em edificações, a partir das águas cinzas (ABNT, 2019). É possível citar ainda o novo marco regulatório do saneamento básico, a Lei nº 14.026/2020, que altera a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2020; BRASIL, 2007). Isso porque essa nova lei protagoniza o reúso de água no contexto dos sistemas de esgotamento sanitário. Contudo, é importante frisar que, apesar dessas normativas, atualmente o Brasil ainda não apresenta um documento legal e/ou orientativo, que defina a qualidade sanitária para as diferentes modalidades de reúso de água (Santos *et al.*, 2025).

Diante das lacunas existentes no arcabouço legal federal, os entes estaduais trabalharam em normativas próprias, para suprir essa lacuna e disciplinar a matéria no âmbito de suas competências (Santos *et al.*, 2025). Nessa perspectiva, o estado do Ceará publicou a Lei nº 16.033/2016, que dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará e, através do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA), publicou também a resolução COEMA nº 02/2017, que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (CEARÁ, 2016; CEARÁ, 2017).

A resolução COEMA nº 02/2017 define o reúso em três categorias: reúso direto, externo e interno. O reúso direto de água corresponde ao uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. Quanto ao reúso externo é o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por prestadores de serviços de saneamento básico ou terceiros, cujas características permitam sua utilização. Finalmente, o reúso interno contempla o uso interno de água de reúso proveniente de atividades realizadas no próprio empreendimento. Além disso, essa resolução também define as modalidades cabíveis de reúso de água e seus respectivos parâmetros de qualidade exigidos, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 51 – Modalidades e parâmetros de reúso Coema 02/2017



Fonte: Autoria própria, 2025.

2.2 ARTIGOS CIENTÍFICOS

No que se refere a identificação e compreensão das tecnologias de reúso de água mais recentes e potencialmente emergentes, foi efetuada uma revisão sistemática da literatura de artigos científicos disponíveis nas bases do portal de periódicos da Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do acesso da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe). O intuito foi encontrar artigos científicos e de revisão que abordassem como conteúdo principal o reúso de água ou reúso de águas residuárias.

Para isso, foram feitas buscas avançadas por assunto entre março e julho de 2025, utilizando palavras-chaves em inglês e português associadas ao operador booleano “OR”, através de duas combinações: ("water reuse" OR "reuse of treated wastewater") e ("reúso de água" OR "reúso de água residual" OR “reúso de esgoto” OR “reúso de água residuária”). Como critérios de busca, as combinações deveriam estar contidas em apenas no título do respectivo documento, o período delimitado foi do ano de 2025 para a combinação em inglês e entre 2023 e 2025 para a combinação em português.

Além disso, os materiais selecionados restringiram-se a artigos e artigos de revisão, com acesso aberto e revisados por pares. Complementarmente, foi realizada uma leitura do título e resumo, excluindo as eventuais duplicidades e fugas ao tema, validando os materiais elencados.

2.3 TECNOLOGIAS ATUAIS E EMERGENTES

As pesquisas através das combinações de palavras-chave no portal de periódicos da CAPES, respeitando os critérios metodológicos descritos, resultaram em um total inicial de trinta e três publicações, sendo vinte e seis internacionais e sete publicações nacionais.

O estudo das produções permitiu constatar que cinco eixos temáticos principais foram abordados: o reúso de água para fins agrícolas; o reúso de água para fins industriais; o reúso em edificações e usos urbanos; o reúso de água para fins potáveis e outras aplicações inovadoras, que contemplam uma ou mais modalidades de reúso.

A Figura 5 ilustra a distribuição dos artigos por categoria de reúso.

Figura 52 - Distribuição dos artigos por categoria de reúso



Fonte: Autoria própria, 2025.

O Quadro 1 mostra a sistematização das publicações selecionadas de acordo com as tecnologias e abordagens dentro desses cinco eixos temáticos.

Quadro 1 - Sistematização dos artigos por eixos temáticos

CONTINUA

Categoria	Título	Autores	Tecnologia / Abordagem	Resultados
Reúso agrícola	Tratamento e reúso de água para fins agrícolas em comunidade rural localizada no sertão Paraibano.	FIRMIN O, L DE. Q. <i>et al.</i> , 2023.	Reúso de águas cinzas na agricultura, através de um sistema com decantador, filtro multicamadas e reservatório para irrigação.	Após o tratamento, uso seguro para as culturas menos restritivas, como mamona, algodão, girassol e culturas arbóreas, inclusive frutíferas.
Reúso agrícola	Aula de campo na educação geográfica no semiárido brasileiro: estudo do reúso de água na irrigação da acerola.	MEDEIR OS, 2023.	Irrigação de plantas de acerola através com rejeitos de dessalinizadores oriundos do tratamento por osmose reversa.	As plantas apresentaram crescimento adequado, ausência de anormalidades e produtividade satisfatória.
Reúso agrícola	Irrigação com reúso de água cinza em sistemas agroecológicos: uma revisão da literatura.	BRITO, I. A DE. <i>et al.</i> , 2025.	Sistema de Bioágua Familiar (SBF), filtro biológico avançado e irrigação por gotejamento.	Sistema de reúso como alternativa para autonomia dos agricultores em relação aos recursos hídricos.

				Existência de barreira cultural à aceitação.
Reúso agrícola	<i>Reuse of Treated Wastewater to Address Water Scarcity in Viticulture: A Comprehensive Review.</i>	COSTA, C. S. et al., 2025.	Reúso de águas residuárias tratadas em vinícolas.	O uso de águas residuais tratadas para irrigação na viticultura oferece uma solução viável para mitigar a escassez de água.
Reúso agrícola	<i>Diagnosis and Assessment of a Combined Oxylag and High Rate Algal Pond (COHRAP) for Sustainable Water Reuse: Case Study of the University Campus in Tunisia.</i>	KEFFAL A, C. et al., 2025.	Sistemas de tratamento em série combinado de tanque aerada - Oxylag e tanque com algas de alta taxa (COHRAP, do inglês Combination of Oxilag with a High Rate Algal Pond) para reúso de água na irrigação.	Sistema obteve resultados satisfatórios mostrando-se como uma alternativa sustentável, que atende aos padrões da Tunísia nacionais e europeus.
Reúso agrícola	<i>Resource recovery from wastewater treatment: Effects of water reuse and slow-release fertilizers on faba bean within Palermo University (Italy) case study.</i>	PALIAG A, S. et al., 2025.	Sistema de reúso de água baseado no aproveitamento dos efluentes tratados na estação de tratamento de águas residuárias para irrigação e fertilização de culturas.	A tecnologia obteve êxito na cultura do feijão-fava, com correção estratégica utilizando o biocarvão e a zeólita. As análises indicaram segurança do ponto de vista microbiológico.
Reúso agrícola	<i>Detoxification of tequila vinasse by Trametes sanguineus: a biotechnological approach to laccase production and water reuse in seedling growth.</i>	TEYME NNET-RAMÍRE Z, K. V. et al., 2025.	Tecnologia para biorremediação da vinhaça de tequila utilizando o fungo ligninolítico <i>Trametes Sanguineus</i> e reúso em culturas de alface e tomate.	Resultados positivos com redução de cor, fenóis e DQO em vinhaça. Reúso da água usando a vinhaça na concentração 50% desintoxicada obteve Germinação superior a 60% em alface e tomate.
Reúso agrícola	<i>Challenges and prospects of reclaimed water reuse in Spanish agriculture.</i>	RANERA, C. V. et al., 2025.	Levantamento dos obstáculos à adoção generalizada das práticas de reúso agrícola na Espanha e proposição de soluções aos entraves.	Colaboração entre órgãos, entidades de gestão de recursos hídricos e demais <i>stakeholders</i> para desenvolver e implementar estratégias e políticas eficientes recuperação e a reutilização da água.
Reúso agrícola	<i>An innovative risk assessment framework for water reuse: The case study of Corleone (Italy).</i>	CARNES I, M. et al., 2025.	Metodologia inovadora para avaliação do risco ambiental e de saúde do reúso de água, conectando a gravidade do risco com a qualidade da água.	Resultados promissores em relação ao reúso agrícola, diante do baixo risco constatado.

Reúso Agrícola	<i>Comparison of statistical evaluation approaches for log-removal validation according to European water reuse regulations.</i>	SEIS, W. et al., 2025.	Validação e monitoramento de remoção de patógenos.	Necessidade de comprovação contínua de desempenho, respeitando os parâmetros definidos nas normativas de cada local.
Reúso Agrícola	<i>Safe Reuse of Treated Wastewater: Accumulation of Contaminants of Emerging Concern in Field-Grown Vegetables under Different Irrigation Schemes.</i>	SHI, Q. et al., 2025.	Tecnologias para mitigação dos riscos das substâncias químicas de preocupação emergente em relação à reutilização de águas residuais tratadas para a irrigação.	Modificações na irrigação para redução da contaminação dos alimentos, contribuindo para o reúso seguro de águas não convencionais.
Reúso Agrícola	<i>Reuse of Pretreated Household Wastewater for Decentralized Food Production.</i>	VAVRA, L. et al., 2025.	Uso de águas residuais domésticas pré tratadas para a produção de alimentos em um sistema hidropônico.	Sistema de reúso validado na produção descentralizada de alimentos.
Reúso industrial	Reúso de água em destiladores pilsen: uma prática sustentável.	FERREIRA, W.; FURTADO, A. C., 2024.	Determinação da vazão ótima de funcionamento de sistemas de destiladores pilsen.	A tecnologia traz uma economia significativa em volume, com vida útil da água reutilizada de 36 dias. A viabilidade econômica do sistema foi comprovada.
Reúso industrial	<i>Designing a High-Performance Oil-Water Filtration System: Surface-Enhanced Quartz with Hydrophilic Nanoparticles for Sustainable Water Reuse and Global Water Scarcity Solutions.</i>	RAMANAMANA, N; Pita, M., 2025.	O potencial de sistemas de filtração à base de quartzo, aprimorados com nanopartículas hidrofílicas para separação eficiente de óleo e água.	Quartzo projetado para superfícies como uma solução escalável e econômica para reutilização sustentável de água.
Reúso em edificações e uso urbano	Potencial do aproveitamento de água de chuva e do reúso de água cinza em edificações de escritórios em Brasília-DF.	SANT'ANA, D. R. et al., 2023.	Sistemas integrados de reúso de água cinza e de água das chuvas em prédios comerciais.	A utilização do sistema com essas tecnologias combinadas é capaz de gerar economia média de 851 m ³ /ano por edificação.
Reúso em edificações	<i>High Rate Stormwater</i>	VIGNESWARAN,	Infraestrutura verde para águas pluviais,	Tecnologias de meios filtrantes e processos de

e uso urbano	<i>Treatment for Water Reuse and Conservation - Review.</i>	S. et al., 2025.	combinações de sistemas de tratamento para reúso com boa relação custo-benefício.	filtração mostraram-se exitosas para o reúso das águas pluviais urbanas.
Reúso em edificações e uso urbano	<i>Efficient phytoremediation of first-flush storm water using an innovative constructed wetland: a pilot-scale study towards sustainable water reuse.</i>	TAMMO NE, C. et al., 2025.	Solução inovadora baseada na natureza, usando um <i>Wetland</i> construído de fluxo híbrido, para atender aos padrões de qualidade para águas residuais reutilizáveis.	Redução da contaminação bacteriana e atendimento aos padrões de reúso.
Reúso em edificações e uso urbano	Estudo de caso sobre a avaliação do potencial qualitativo do reúso de água residuária na ETE - rio Pará de Divinópolis-MG.	SOARES, F. A. et al., 2025.	Verificação de conformidade de águas residuárias tratadas em ETE para reúso urbano.	Padrões de lançamento atendidos para DBO e DQO; necessidade de tratamento terciário para controle de coliformes termotolerantes e reúso seguro da água.
Reúso em edificações e uso urbano	<i>Water Reuse: Contribution of a Decision Support Model.</i>	COSTA FILHO, E. H. et al., 2025.	Modelo de apoio à decisão para projetos de reúso de água, identificando indicadores e parâmetros relevantes	Índice de viabilidade de reúso urbano para subsidiar aplicações. Caso da cidade de Aquiraz, no Ceará teve viabilidade muito alta (índice de 82%).
Reúso potável	<i>Review of quantitative microbial risk assessments for potable water reuse.</i>	CLEMENTS, E. et al., 2025.	Avaliações quantitativas de risco microbiano (QMRA, do inglês <i>quantitative microbial risk assessments</i>) sobre reúso potável de água.	QMRA deve considerar os impactos que suposições críticas, como frequência de ingestão, concentrações de patógenos, processos de tratamento da unidade e falhas de tratamento, têm sobre o risco.
Reúso potável	<i>Water Reuse - Retrospective Study on Sustainable Future Prospects.</i>	ABBASZ ADEGA N, M et al., 2025.	Tecnologias para reúso potável direto com ênfase nos patógenos virais e compostos perfluorados Microfiltração, ultrafiltração, osmose reversa e UV/AOP.	Técnicas de tratamento avançadas, como ultrafiltração e osmose reversa. Sensoriamento para monitoramento estratégico da qualidade em vários estágios do tratamento e consumo.
Reúso potável	<i>Diversity and functional capabilities of the microbial metagenome in a potable water reuse system.</i>	WONG, A. C. C. et al., 2025.	Uso do sequenciamento <i>shotgun</i> para caracterizar a diversidade filogenética e funcional em cada ponto dentro de um sistema de tratamento de reúso potável.	Mudanças significativas na diversidade filogenética e funcional em cada ponto do sistema de tratamento.

Reúso potável	<i>Risk characterization of chemicals of emerging concern in real-life water reuse applications.</i>	SPECKE R, J. C. et al., 2025.	Reúso de água, substâncias químicas de interesse emergente e risco à saúde humana e ao meio ambiente.	Para o reúso agrícola os riscos estão em nível aceitável. Para o reúso potável, a avaliação de riscos ainda é limitada, necessitando de complementação.
Reúso potável	<i>Direct water reuse: a hydraulic economic analysis of connecting the wastewater treatment effluent to water treatment influent.</i>	BARKDO LL. B.; STRUTZ. A. G., 2025.	Reúso direto através da conexão entre o efluente da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de uma cidade e o afluente da estação de tratamento de águas residuais (ETA) via tubulação foi simulada para fornecer uma compreensão dos custos de capital e da viabilidade de execução.	A análise de dados mostrou que a viabilidade financeira depende dos requisitos de tamanho da bomba.
Outras aplicações inovadoras	<i>New Mexico as a testbed for safe beneficial produced water reuse.</i>	CULL-HOST ET AL., 2025.	Tratamento e aproveitamento de água produzida através do reúso, inclusive para recuperação de petróleo e extração mineral.	Reúso benéfico da água com potencial em hidrogênio, extração mineral e armazenamento energético.
Outras aplicações inovadoras	<i>Wastewater Remediation Treatments Aimed at Water Reuse: Recent Outcomes from Pilot- and Full-Scale Tests.</i>	FERRI, E. N; BOLELL I, L., 2025.	Foco em procedimentos híbridos e multietapas para obter água de alta qualidade e incentivar sistemas descentralizados e domésticos para evitar perdas de água e/ou criar fontes de água.	Soluções descentralizadas, com procedimentos híbridos e multietapas de remediação, parecem ser muito promissoras no âmbito da economia circular.
Outras aplicações inovadoras	<i>Ultrafiltration membrane modelling: Comparing two mathematical models by sensitivity and uncertainty analysis for Palermo and Corleone (Italy) water reuse case studies.</i>	MANNI NA, G. et al., 2025.	Modelagem mecânica comercial e personalizada de membranas de Ultrafiltração (UF).	Modelo personalizado confiável para ultrafiltração, através da predição de incrustações e otimização de desempenho.
Outras aplicações inovadoras	<i>Combined membrane aeration and filtration for energy- and space-efficient COD removal in water reuse</i>	TIMMER, M. J. et al., 2025.	Novo biorreator de membranas aeradas por bolhas, com redução do consumo de energia.	Reúso não potável com eficiência de recursos.
Outras aplicações inovadoras	Otimização da retrolavagem dos filtros de areia utilizados para	TRECOS SI, L. V. P. et al., 2025.	Uso da Filtração Direta Descendente (FDD) para a produção de água de	A granulometria e a altura do leito influenciam no volume de água utilizado na

	reúso de água como estratégia para a gestão hídrica.		reúso, relacionado a etapa de retrolavagem do leito granular.	lavagem, sendo as partículas de grãos menores, com menor altura de leito, 0,93 mm e 10 cm, respectivamente, consumiram menor volume.
Outras aplicações inovadoras	<i>Optimizing Reservoirs to Provide Water in Times of Crisis, With Emphasis on the Reuse of Treated Wastewater in Different Uses.</i>	SHAMSA EIFAR, M, R. et al., 2025.	Reservatórios de água não potável, utilizando águas residuais tratadas, associados à energia solar, para a irrigação e combate a incêndio.	Estratégias de Gestão Hídrica eficazes, incluindo sistemas de energia solar e reúso de águas residuais tratadas.
Outras aplicações inovadoras	<i>Feature of water: A practical concept in water reuse.</i>	CHEN, X.W et al., 2025.	Sistema de avaliação multidimensional que abrange quatro indicadores primários: concentração quantitativa, características composicionais, potencial de transformação e efeitos toxicológicos.	Maior precisão na escolha de tecnologias, com redução de custos operacionais e mitigação de riscos ecológicos.
Outras aplicações inovadoras	<i>Institutional challenges in water reuse and circularity: insights from co-creation processes in Southern Europe and Middle East.</i>	MATOS, M, V. et al., 2025.	Projeta e aplica um processo de cocriação para analisar a percepção das principais partes interessadas sobre os desafios institucionais para o reúso da água e explorar suas contribuições para inovar políticas, planejamento e governança para o setor.	A implementação de um novo circuito de água encontra obstáculos institucionais e produtivos complexos, que diferentes partes interessadas abordam de maneiras variadas.
Outras aplicações inovadoras	<i>Sustainable water reuse for water security.</i>	TORTAJ ADA, C. et al 2025.	Reúso, segurança hídrica, recuperação de nutrientes e sustentabilidade.	Reúso de água cria oportunidades econômicas através de inovações em tecnologias de reciclagem e infraestrutura verde, respeitando as estruturas políticas, legais e regulatórias.

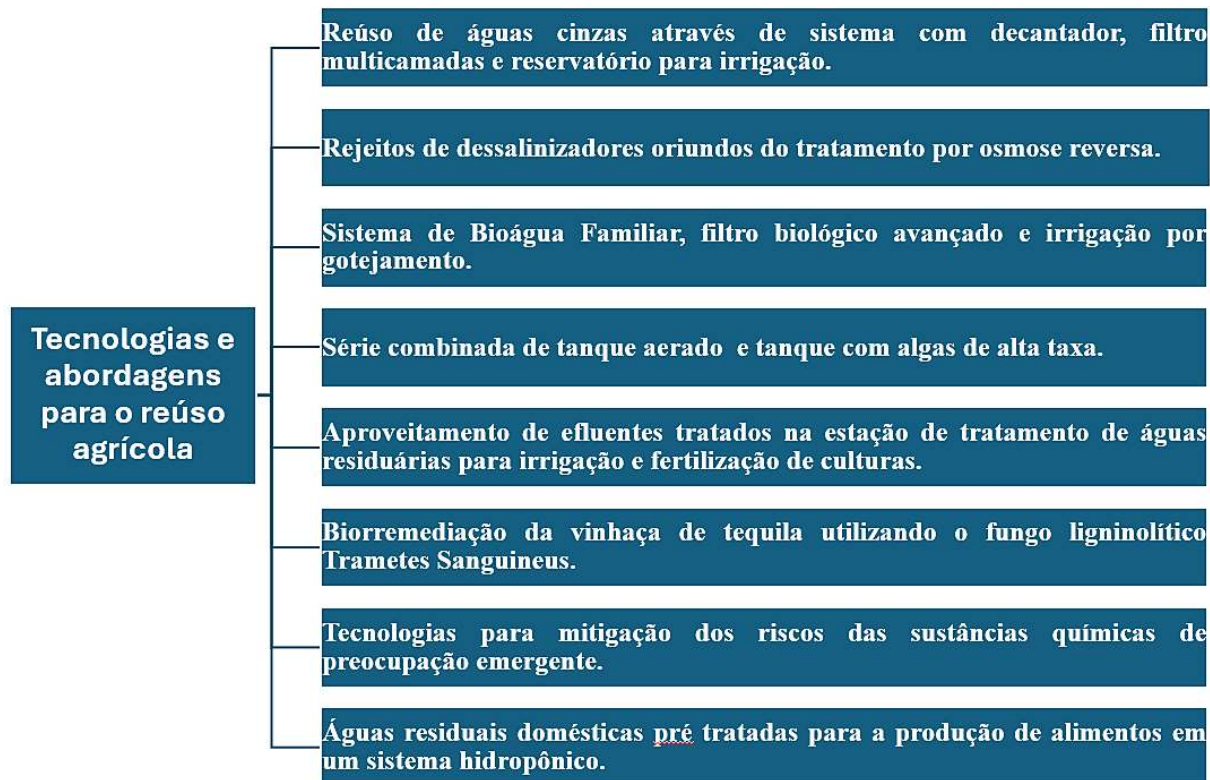
Fonte: Autoria própria (2025).

2.3.1 Reúso Agrícola

Nesta categoria, os estudos analisados convergiram ao evidenciar tendências tecnológicas, requisitos de qualidade e barreiras à adoção do reúso de água na agricultura, abrangendo desde a irrigação de culturas alimentares até a recuperação de

nutrientes para uso em sistemas produtivos. Os trabalhos trouxeram tecnologias e abordagens inovadoras, conforme indicadas na Figura 6.

Figura 53 - Reúso agrícola: tecnologias e abordagens

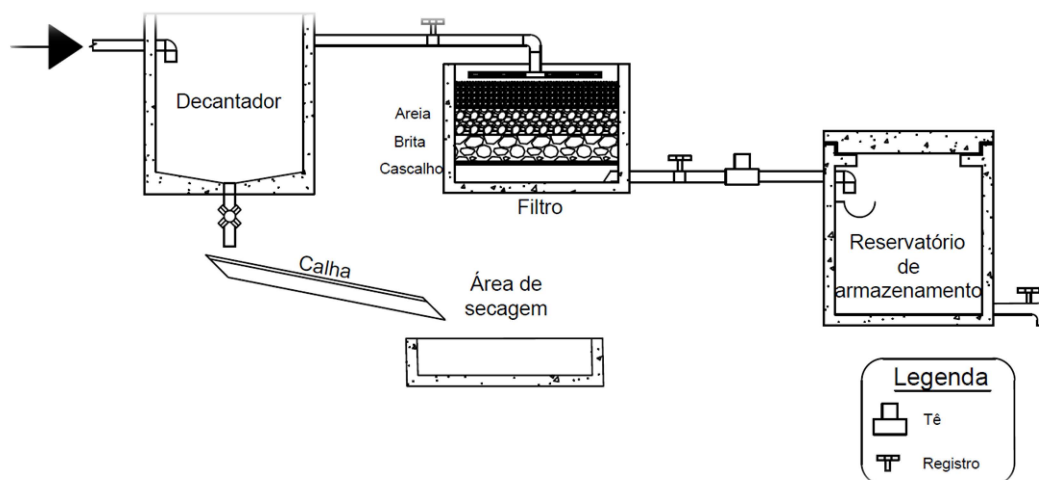


Fonte: Autoria própria, 2025.

Foi possível constatar um crescimento nas pesquisas relacionadas ao reúso da água produzida ao longo do tempo, especialmente relacionadas ao clima semiárido. Tal situação, sinaliza a necessidade desses locais de encontrarem alternativas de fonte de água, destinadas principalmente à irrigação, devido aos baixos índices pluviométricos associados à escassez hídrica (Brito *et al.*, 2025).

Firmino *et al.* (2023) propuseram um sistema compacto de reúso de águas cinzas para irrigação de culturas arbóreas frutíferas, cujo tratamento é composto por três unidades: um decantador retangular, um filtro com três camadas (areia, brita e cascalho) e reservatório com possibilidade de cloração, garantindo a remoção de sólidos e microrganismos, além do armazenamento seguro. A Figura 7 descreve o sistema de tratamento de águas cinza proposto.

Figura 54 - Sistema de tratamento de águas cinzas



Fonte: Firmino *et al.*, 2023.

A primeira unidade submete as águas cinzas, com sólidos e matéria orgânica, à ação da gravidade para remoção de particulados mais pesados. Destaca-se que o decantador retangular deverá possuir fundo inclinado formando uma calha destinada ao acúmulo dos resíduos decantados, facilitando assim o descarte destes durante a limpeza da unidade (Firmino *et al.*, 2023).

Na segunda unidade (filtro) serão removidos os sólidos não decantáveis remanescentes, juntamente com alguns microrganismos (Lien *et al.*, 2010). Quanto às disposições construtivas, conforme a NBR 13.969:1997, o filtro será composto de três camadas contendo os seguintes materiais: areia grossa, brita e cascalho; de 20 cm cada uma e na parte superior (da cobertura até a primeira camada) uma folga de 20 cm. A camada de cascalho encontra-se disposta sobre uma placa de concreto com furos bem distribuídos, formando uma espécie de fundo falso que guarda uma distância de 20 cm do piso do filtro. Essa distância irá proporcionar o escoamento livre da água filtrada a ser direcionada para a tubulação onde será introduzido o cloro (Firmino *et al.*, 2023).

No que se refere à terceira unidade - reservatório, Firmino *et al.* (2023) propõem, logo na entrada, um degrau para promover a mistura rápida do cloro que foi introduzido na tubulação entre o filtro e esta última unidade, caso esta opção seja adotada. Finalmente, serão inativados os microrganismos remanescentes e ficará armazenada a água pronta para reúso na agricultura.

O sistema foi projetado para irrigação por aspersão - Figura 8 de culturas menos restritivas, como mamona, algodão e árvores frutíferas, evitando contato direto da água com os frutos, atendendo, assim, critérios sanitários e agrônômicos. Ainda assim,

é recomendada a realização de análise da qualidade da água de reúso, para fins de monitoramento e segurança (Firmino *et al.*, 2023).

Figura 55 - Irrigação por aspersão no cultivo de hortaliças



Fonte: Firmino *et al.*, 2023.

No trabalho desenvolvido por Medeiros (2023), por sua vez, foi avaliada a possibilidade de uso de rejeitos de dessalinizadores, oriundos do tratamento por osmose reversa, na irrigação de árvores frutíferas de acerolas. O estudo foi conduzido em um sistema agroflorestal urbano, mais especificamente em uma escola estadual localizada no Rio Grande do Norte, região semiárida, e pôde-se observar um crescimento adequado, ausência de anormalidades e produtividade satisfatória das mudas irrigadas, atestando a viabilidade de integrar água de reúso em arranjos sustentáveis de produção agrícola.

Os estudos realizados por Brito *et al.* (2025) abordaram tecnologias relevantes para o reúso de água na agricultura, como o Sistema de Bioágua Familiar (SBF) com Filtro Biológico (FB) e um sistema com FB avançado. As características básicas de aplicação para essas tecnologias são: uso de água cinza, podendo estar associado a outros sistemas de coletas de águas de chuva, como o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR); agricultura de base familiar, com foco nas práticas agroecológicas, com a produção de hortaliças, frutas, raízes, tubérculos e ervas medicinais, objetivando a segurança alimentar.

A primeira tecnologia projeta o reúso de água em um sistema fechado de irrigação por gotejamento em quintal de 300 m² (20 m x 15 m) inseridos em terrenos das famílias, constituídos pelos componentes: caixa de gordura; filtro biológico; tanque de armazenamento de água de reúso; sistema de irrigação por gotejo; minhocário; mini telado para produção de mudas; mangueiras para irrigação de plantas de maior porte e manutenção do minhocário; canteiros para plantações e cerca

viva composta por árvores (Santiago; Jalfim, 2018; Barbosa, 2019). A Figura 9 demonstra os componentes desse sistema.

Figura 56 - Componentes do sistema de reúso familiar com filtro biológico

A)



B)



C)



D)



E)



F)



G)



H)



Legenda: A) e B) Caixa de gordura; C) e D) Filtro biológico; E) Tanque de armazenamento; F) Minhocário; G) Mini telado para produção de mudas; H) Canteiro com sistema de gotejamento.

Fonte: Adaptado de Brito *et al.*, 2025.

A segunda tecnologia, mais avançada, além de servir para fins de irrigação na agricultura familiar é aplicável para a dessedentação animal. Os processos de filtragem possuem três FBs para realização da filtragem física, química e biológica. O FB1 possui tecnologia semelhante à do Bioágua, a diferença está em ser construído acima da superfície, sobre o solo. O FB2, considerado o diferencial, possui uma estrutura de placa de cimento impermeabilizado, cinco camadas filtrante, e uma vegetação na superfície (plantas em fase de seleção). O FB3 também diferenciado, com as mesmas estruturas do FB1 e do FB2, conforme Rocha *et al.* (2023) conclui, “a diferença está em uma manilha de concreto armado colocada no centro entre as plantas que caracteriza o “Olho D’água Cinza”, em que a água fica disponível para dessedentação de abelhas, pássaros e roedores, entre outros animais da fauna local”.

Oportunamente, Brito *et al.* (2025) destacaram possibilidades inovadoras trazidas como alternativas para os materiais componentes das camadas filtrantes, em ambas as tecnologias: resíduos sólidos como esponjas usadas, resíduos da construção civil e antracito (tipo de carvão mineral). Não obstante, especialmente quanto ao monitoramento e segurança do reúso, atentaram para a importância de parâmetros como: condutividade elétrica, salinidade e os sólidos dissolvidos total, havendo a possibilidade desses fatores ocasionar a obstrução do sistema reverberando na qualidade da irrigação e a possibilidade de incisão de efeitos adversos nas plantas e em

longo prazo, a acumulação de sais minerais nos solos. Devido à preocupação com aporte de teor de sódio (Na), o reúso de água cinza deve ser racional, tendo em vista que pode alterar as qualidades químicas do solo, causando a dispersão de argila, salinidade e ou sodicidade.

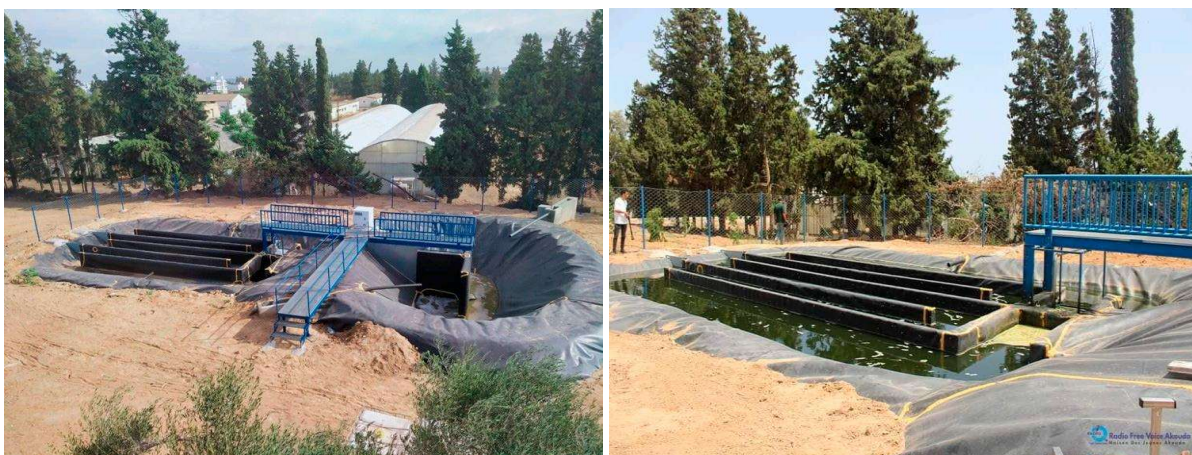
O trabalho realizado por Costa *et al.* (2025), que contemplou uma robusta revisão bibliográfica sobre o reúso de água para irrigação de vinícolas, demonstrou que o uso de águas residuais tratadas para irrigação é mais vantajoso do que o uso de fontes de água tradicionais. Isso porque o alto teor de nutrientes nas águas residuais, incluindo nitrogênio, fósforo e potássio, bem como carbono orgânico, micronutrientes inorgânicos e matéria orgânica, contribuem para o aumento da produtividade das culturas. Paralelamente, reduzem a necessidade de fertilizantes químicos, que têm impactos ambientais e econômicos negativos, promovendo, consequentemente, a economia circular.

Os autores destacaram ainda, baseados inclusive em estudos de caso feitos no México, na Califórnia e no Líbano, que as águas residuais tratadas oferecem diversas vantagens para a irrigação de vinhedos, especialmente em regiões onde a escassez de água é uma preocupação crescente. Elas fornecem uma fonte de água consistente e acessível durante todo o ano, o que é crucial para manter a saúde das videiras e garantir uma produção satisfatória de uvas. Entretanto, é necessário alertar sobre as desvantagens potenciais desse reúso de água, como o aumento da salinidade do solo, a alteração da absorção de nutrientes pela videira e potenciais impactos nas características do vinho. Embora o alto teor de sal da água reciclada possa influenciar as respostas das plantas, seus efeitos dependem da disponibilidade de nutrientes e da composição específica de sais.

Além disso, como a maior parte da irrigação com águas residuais agrícolas depende de fontes municipais com teor insignificante de metais pesados, o acúmulo desses elementos nos solos dos vinhedos normalmente permanece abaixo dos limites internacionais de segurança. Dessa forma, a implementação bem-sucedida dessa abordagem requer monitoramento e gestão cuidadosos de diversos fatores, incluindo a qualidade do solo, a saúde das plantas, o desenvolvimento dos frutos e o produto do vinho. Portanto, garantir a segurança e a qualidade do vinho, bem como a proteção da saúde do consumidor, exige uma supervisão rigorosa para evitar quaisquer impactos negativos do uso de água de reúso (Costa *et al.*, 2025).

Outra tecnologia importante no âmbito do reúso agrícola foi trazida por Keffala *et al.* (2025), através do projeto e da operação do primeiro tanque combinado em série de tanque aerado - Oxylag e tanque com algas de alta taxa (COHRAP, do inglês *Combination of Oxilag with a High Rate Algal Pond*) construído no campus universitário na Tunísia para irrigação. O princípio básico do sistema é reduzir a carga orgânica de alimentação do compartimento de algas de alta taxa. Para isso, em posição inicial o tanque aerado – Oxilag é equipado com um sistema de aeração por elevação de ar, que garante a circulação e a homogeneização do efluente, além de aumentar a degradação biológica da matéria orgânica por bactérias. A Figura 10 mostra uma planta piloto desse sistema de tratamento.

Figura 57 - Planta piloto do tratamento com lagoas em série - COHRAP



Fonte: Keffala *et al.*, 2025.

O Quadro 2 detalha as dimensões adotadas para o sistema projetado, trazendo referências sobre as disposições construtivas.

Quadro 2 - Especificações dimensionais do Oxylag e HRAP.

Dispositivo	Comprimento (m)	Superfície de água (m ²)	Profundidade (m)	Volume(m ³)
Lagoa Oxylag	11	54,3	1,5	57,8
Poço de aeração		4,8	2,7	13,0
Lagoa de alta taxa - HRAP	12,7	86,7	0,5	44,2
Poço de aeração		3,2	2,8	9,0

Fonte: Autoria própria (Adaptado de Keffala *et al.*, 2025).

Ademais, a Figura 11 mostra fotos do poço Oxylag com difusão de ar, demonstrando a estrutura que fundamenta o princípio básico dessa tecnologia.

Figura 58 - Fotos do tanque Oxylag com difusão de ar



Fonte: Keffala *et al.*, 2025.

O desempenho do sistema foi avaliado com base nas eficiências de remoção de nutrientes, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), metais pesados, coliformes e produtividade de biomassa. Os resultados indicam que o desempenho do COHRAP foi globalmente satisfatório; no entanto, a produtividade da biomassa foi baixa, indicando a necessidade de ajustes nos parâmetros operacionais. Apesar das limitações do efluente para Sólidos Suspensos Totais (SST) e mercúrio (Hg), nenhum efeito fitotóxico foi observado. Em relação ao teor de metais pesados no lodo e na biomassa de algas, os resultados obtidos estavam em conformidade com normas locais, NT 106.20 e EC 2019/1009, respectivamente. O consumo médio de energia do COHRAP é de 1,05 kWh/m³, resultando em custos operacionais de 0,29 euros/m³ (Keffala *et al.*, 2025).

Outrossim, concluiu-se que o sistema combinado COHRAP é uma alternativa viável e promissora para tratamento de águas residuárias com subprodutos valiosos, adequado para áreas áridas e semiáridas e apresentam inúmeras vantagens, como baixa ocupação do solo e baixo custo de investimento. Além disso, é sustentável a reutilização do efluente para irrigação de árvores frutíferas, cereais e plantas ornamentais, proporcionando altos níveis de recuperação de recursos, promovendo conceitos de economia circular e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (Keffala *et al.*, 2025).

Em pesquisas realizadas na Universidade de Palermo, na Itália, foram avaliados especificamente os efeitos das águas residuais tratadas e dos nutrientes recuperados

das águas residuais na cultura do feijão-fava. Inicialmente, houve um aumento da condutividade elétrica do solo e impacto negativo no crescimento das plantas. No entanto, a aplicação de biochar e zeólita mitigou efetivamente esses efeitos adversos, funcionando como correções. Finalmente, a investigação microbiológica revelou que tanto as vagens quanto as sementes de fava analisadas não hospedavam bactérias patogênicas. A Figura 12 ilustra a unidade de recuperação de recursos hídricos e a Figura 13 esquematiza a estação de tratamento de esgoto e recuperação de nutrientes (Paliaga *et al.*, 2025).

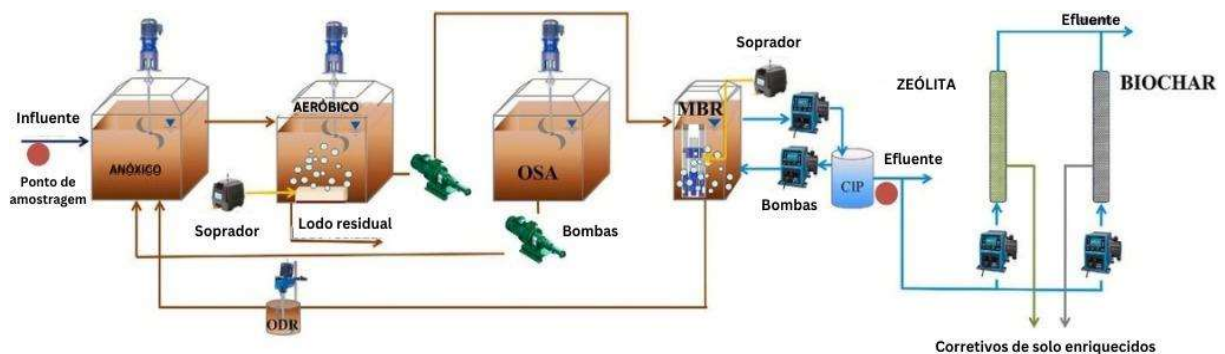
Figura 59 - Vista esquemática da instalação de recuperação de recursos hídricos da Universidade de Palermo



Legenda: PHA - Poli-hidroxialcanoato (bioplástico natural e biodegradável).

Fonte: Adaptado de Paliaga *et al.*, 2025.

Figura 60 - Vista esquemática da estação piloto de tratamento de águas residuais e do sistema de recuperação de nutrientes



Legenda: ODR – Reator de esgotamento de oxigênio; OSA – óxido-sedimentação-anaeróbica; MBR – Biorreator de membrana; CIP – Tanque de limpeza no local.

Fonte: Adaptado de Paliaga *et al.*, 2025.

As pesquisas desenvolvidas por Teymennet-Ramírez *et al.* (2025) exploraram uma tecnologia que realiza a biorremediação de 10 dias, através do fungo *Trametes Sanguineus*, nas concentrações de 100%, 70% e 50% da vinhaça de tequila - um efluente com alta DQO e pH ácido, de coloração escura e composição complexa, incluindo água, álcoois, açúcares, compostos fenólicos e proteínas. O tratamento resultou em reduções na cor (48–76%), no conteúdo fenólico (60–68%) e na DQO (22–36%) em todas as condições. Contudo, outros parâmetros, como pH e condutividade elétrica - CE, permaneceram inalterados ou apresentaram variação mínima. Destaca-se ainda que os metais pesados foram reduzidos a valores indetectáveis, provavelmente devido à capacidade do fungo de absorção de metais. A Figura 14 demonstra as alterações nos parâmetros supracitados.

Figura 61 - Composição química da vinhaça antes e depois do tratamento com *T. sanguineus*

Determinação	Vinhaça 50%	Vinhaça tratada 50%
DBO (mg/L)	4.255,32	2.431,61
Acidez titulável (mg/L)	849,52	580,16
Sólidos suspensos (mg/L)	763,33	280,00
Mercurio (mg/L)	0,0019	< 0,0005
Chumbo (mg/L)	0,008	< 0,0005

Fonte: Adaptado de Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025.

Além dos benefícios em termos de padrão de qualidade do efluente, a participação do fungo *Trametes Sanguineus* ocasionou crescimento e produção da enzima oxidante lacase, que é um subproduto de alto valor biotecnológico. Nesse sentido, a maior atividade de lacase foi observada na concentração de 50% de vinhaça, atingindo 1.779 U/L no quinto dia de incubação (Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025).

Após os processos de tratamento, foi analisada a capacidade de utilização da vinhaça desintoxicada para o reúso agrícola, através da avaliação do impacto na germinação das sementes e no desenvolvimento das plântulas. Para isso, após a remoção dos fungos, o sobrenadante foi aplicado diretamente em sementes de tomate (*Solanum lycopersicum*) e alface (*Lactuca sativa*). Essas espécies foram utilizadas como plantas-modelo pelo fato de permitirem comparar plantas de germinação rápida e lenta (Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025).

Como resultado, as taxas de germinação excederam 60% em ambas as espécies de plantas, enquanto a vinhaça não tratada inibiu completamente a germinação. Os ensaios de crescimento de plântulas demonstraram que a vinhaça tratada sustentou o alongamento das raízes em tomate e alface, exibindo padrões de crescimento comparáveis aos observados no controle. É oportuno frisar que, apesar dos benefícios acima descritos, análises físico-químicas e etapas de otimização adicionais são necessárias para desenvolver uma estratégia robusta para a reutilização da vinhaça, com foco principal na redução da CE para atender aos padrões agrícolas (Teymennet-Ramírez *et al.*, 2025).

Os estudos realizados por Specker *et al.* (2025) consideraram a ampla presença de substâncias químicas de interesse emergente (SQIE) em sistemas naturais, especialmente no ambiente aquático, que representa um obstáculo significativo ao reúso da água e ao ambiente receptor. Para o reúso agrícola, foi observado que as concentrações de SQIEs nas culturas produzidas estavam em níveis aceitáveis. Mesmo assim, os autores recomendaram irrigar culturas com baixo potencial de bioacumulação, particularmente aquelas onde as partes consumidas, como frutas, acumulam em geral menos contaminantes.

Ainda nesse contexto, Shi *et al.* (2025) examinaram a acumulação de um conjunto representativo de contaminantes de preocupação emergente, incluindo substâncias perfluoroalquílicas e polifluoroalquílicas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, e partículas de desgaste de pneus, em culturas de rabanete, alface e tomate. Essas culturas geralmente consumidas cruas, sem cozimento, representando o pior cenário de exposição humana. Ademais, a abordagem foi realizada com a técnica de gotejamento sob três práticas de irrigação: irrigação contínua com águas residuais tratadas, irrigação alternada entre águas residuais tratadas e água doce e irrigação apenas com água doce.

Dessa forma, os autores atestaram que usar águas residuárias tratadas apenas para a primeira parte da estação de crescimento representa uma opção eficaz e viável, em escala agrícola, para minimizar a transferência de contaminantes de preocupação emergente para alimentos de origem vegetal. A redução é o resultado de efeitos combinados devido à degradação do solo, metabolismo na planta, diluição do crescimento e outros fatores.

No trabalho realizado por Ranera *et al.* (2025) o objetivo foi identificar os principais obstáculos à adoção generalizada do reúso de água na agricultura na Espanha e propor possíveis estratégias de mitigação. Elas constataram que apesar do progresso na recuperação e reutilização de água para irrigação agrícola na Espanha, ainda persistem barreiras significativas. As barreiras mais influentes estão relacionadas à poluição potencial, à coordenação institucional insuficiente e à falta de agilidade nos procedimentos administrativos.

Nessa perspectiva, as autoras explicitaram que os esforços para enfrentar esses desafios envolvem o aprimoramento das regulamentações que regem a água recuperada. Barreiras adicionais, como custos elevados, riscos à saúde e limitações legais e tecnológicas, devem ser enfrentadas por meio de ações de conscientização pública direcionadas nas campanhas maior apoio econômico e revisão de estruturas regulatórias para equilibrar a proteção ambiental e a viabilidade financeira.

Ainda sobre os riscos e obstáculos para o reúso, Carnesi *et al.* (2025) afirmaram que as práticas de reutilização de água ainda precisam ser implementadas de forma consistente em toda a Europa e globalmente, principalmente devido à confiança social insuficiente e às complexidades da governança em torno das técnicas de reutilização de água. Ressaltaram ainda o cenário regulatório na União Europeia- UE e a necessidade de uniformização das legislações de reúso de água. Nesse cerne, o regulamento mais recente de 2020 da UE exige o desenvolvimento de Planos de Gestão de Riscos de Reutilização de Água para todas as instalações de recuperação.

Foi proposta uma estrutura inovadora de avaliação de riscos à saúde e ao meio ambiente. Essa estrutura contempla uma análise combinada da probabilidade e gravidade dos riscos à saúde e riscos ambientais com a gravidade segundo a concentração dos patógenos, avaliando sólidos suspensos totais - SST, turbidez, demanda biológica de oxigênio - DBO₅ e *Escherichia coli* - *E. coli*. Os resultados obtidos com a estrutura proposta são muito promissores em relação ao futuro reúso agrícola de água, uma vez que se apresentaram como de baixo risco (Carnesi *et al.*, 2025).

Foi possível observar que o reúso de água na agricultura foi a modalidade mais recorrente nos trabalhos, com avanços tecnológicos para soluções individualizadas e até mesmo mais amplas. Ademais, paralelamente ao grande consumo de água das práticas agrícolas, essa aplicação de reúso apresenta riscos relativamente menores se

comparados com as outras modalidades de reúso. Ainda assim, é importante conciliar os processos de tratamento, os parâmetros de qualidade, as culturas escolhidas e as técnicas de irrigação de forma adequada, para garantir a prática segura desse reúso.

2.3.2 Reúso Industrial

Nesta categoria, os trabalhos analisados demonstraram que o reúso no setor industrial se destaca pelo uso de tecnologias avançadas e pela busca de soluções que conciliem eficiência econômica e redução do impacto ambiental. Foi identificada uma tecnologia promissora de sistemas de filtração à base de quartzo, aprimorados com nanopartículas hidrofílicas para separação eficiente de óleo e água. Nesse viés, destaca-se que o processo de separação de óleo e água possui um grande peso no tratamento de efluentes industriais.

Convém ressaltar que para a aplicação da prática do reúso de água em indústrias, existem duas alternativas a serem consideradas: o reúso macro externo e o reúso macro interno. O primeiro é definido como o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por concessionárias ou outras indústrias. O segundo é definido como o uso interno de efluentes, tratados ou não, provenientes de atividades realizadas na própria indústria e pode ser de duas maneiras distintas: reúso em cascata e de efluentes tratados (SEBRAE, 2005).

No processo de reúso em cascata o efluente gerado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado em um outro processo subsequente, sem receber tratamento, visto que o efluente gerado atende aos requisitos de qualidade da água exigidos pelo respectivo processo. Quanto ao Reúso de efluentes tratados, consiste na utilização de efluentes gerados localmente, após tratamento adequado para a obtenção da qualidade necessária aos usos pré-estabelecidos. É importante frisar que essa é a forma de reúso que tem sido mais utilizada na indústria (SEBRAE, 2005).

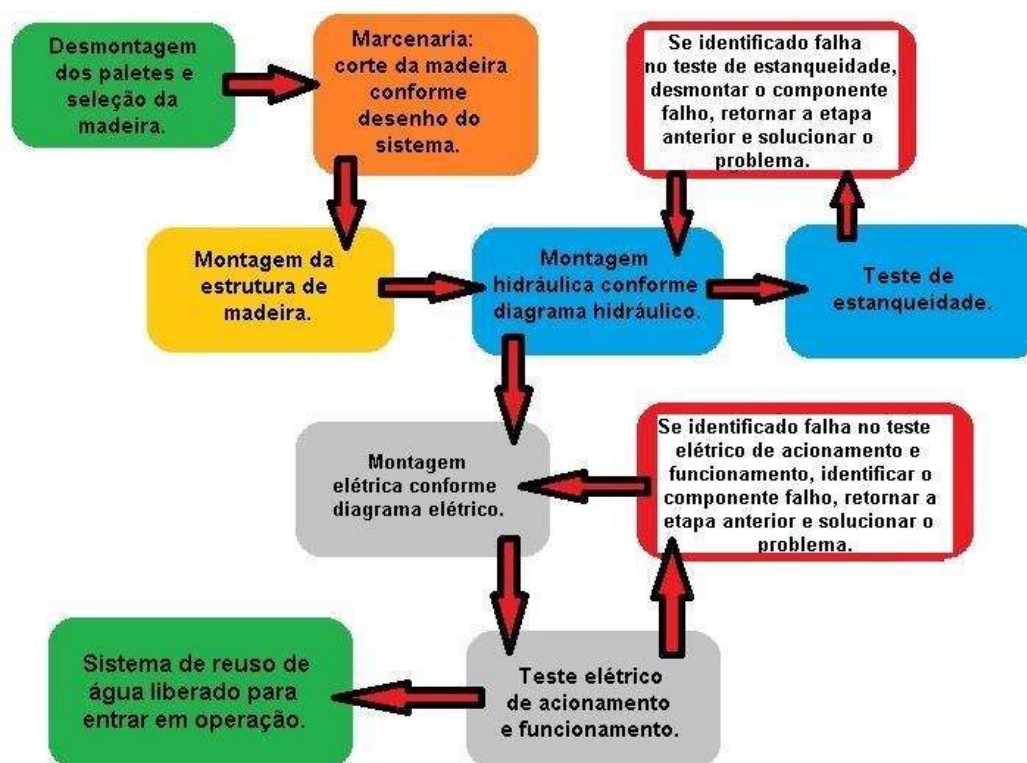
Na avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados, deve ser considerada a elevação da concentração de contaminantes que não são eliminados pelas técnicas de tratamento empregadas. Na maioria das indústrias, as técnicas utilizadas de tratamento de efluentes não permitem a remoção de compostos inorgânicos solúveis. Por segurança, para avaliar o aumento da concentração desses compostos nos ciclos de reúso, adota-se uma variável conservativa, que seja representativa da maioria dos

processos industriais. Na maioria dos casos é adotado o parâmetro “Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)” nos balanços de massa para determinar as porcentagens máximas de reúso possíveis (SEBRAE, 2005).

A tecnologia trazida por Ferreira e Furtado (2024) consiste em um método adaptado para determinação da vazão ótima de funcionamento de destiladores, estabelecidos os parâmetros físico-químicos e microbiológico para determinação da vida útil da água reutilizada e avaliação da viabilidade econômica do sistema de reúso implantado. Tal abordagem é relevante, pois acarreta a diminuição dos custos operacionais a partir da implantação do reúso, visto que os destiladores consomem grande volume de água tratada. Outrossim, os autores concluíram que se não for utilizado um sistema de reúso da água, para cada hora de funcionamento do destilador, no mínimo 159,7 litros de água seriam descartados no esgoto.

A Figura 15 detalha os processos de fabricação e montagem do sistema de reúso proposto.

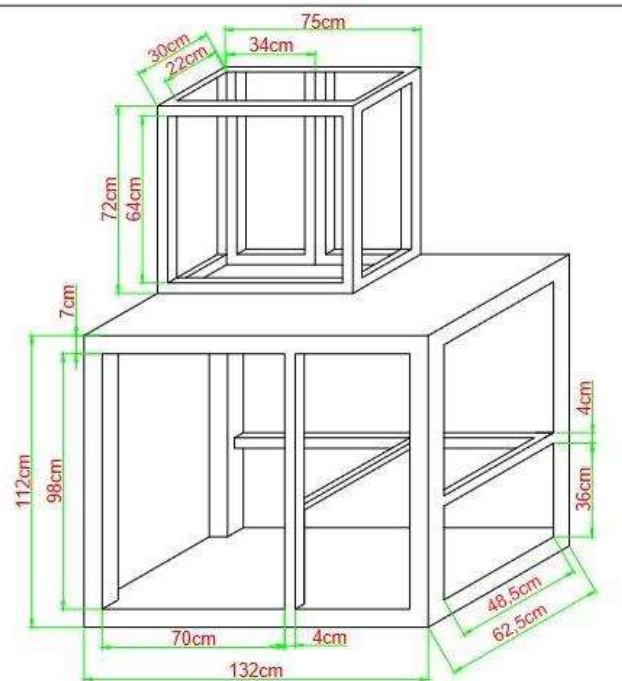
Figura 62 - Fluxograma de fabricação e montagem do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

Para proporcionar uma melhor compreensão da tecnologia, serão expostas a seguir, figuras estratégicas. A Figura 16 mostra uma representação em perspectiva isométrica da estrutura e disposições construtivas do sistema projetado.

Figura 63 - Representação em perspectiva isométrica da estrutura do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

Na sequência, a Figura 17 representa o diagrama hidráulico do sistema.

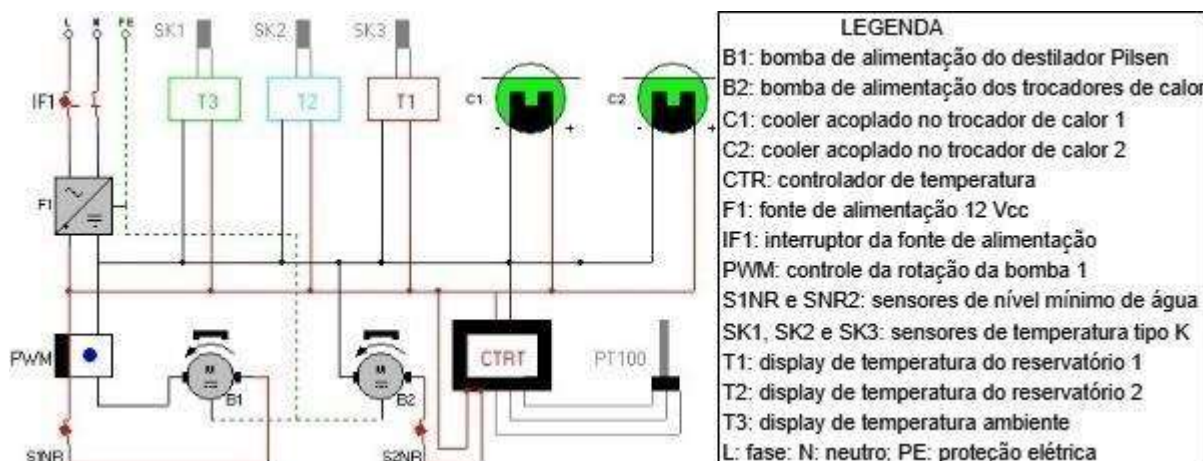
Figura 64 - Diagrama hidráulico do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

Por sua vez, a Figura 18 mostra o diagrama elétrico do sistema.

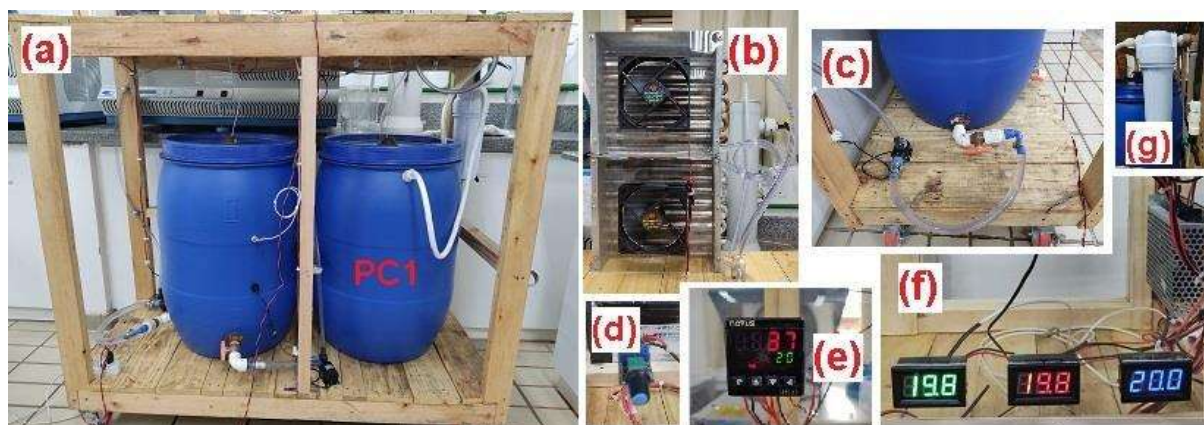
Figura 65 - Diagrama elétrico do sistema de reúso de água



Fonte: Ferreira e Furtado (2024).

A vida útil da água reutilizada foi de 36 dias, respeitando-se as análises físico-químicas e microbiológicas definidas para a água do sistema - pH, CE, dureza total, cloro livre, sólidos totais dissolvidos e presença de bactérias heterotróficas. É importante salientar ainda que a definição da vazão ideal para o sistema foi essencial, uma vez que a utilização de vazões abaixo da mínima definida poderia afetar a integridade do equipamento, devido ao seu sobreaquecimento (Ferreira; Furtado, 2024). A Figura 19 mostra o sistema de reúso de água para destiladores pilsen.

Figura 66 - Sistema de reúso de água para destiladores Pilsen



Fonte: Adaptado de Ferreira e Furtado (2024).

Na figura acima é possível entender como o sistema de reúso de água para destiladores Pilsen ficou após finalizada a etapa de fabricação. A parte “(a)” consiste na região inferior da bancada do sistema, onde estão posicionados os reservatórios de água, válvulas de manutenção e as bombas de circulação. Além disso, observa-se um dos reservatórios com a sigla PC1, que o identifica como ponto de coleta de amostras da água do sistema. A parte “(b)” contempla os trocadores de calor e coolers

responsáveis pelo resfriamento do efluente, cujo acionamento é realizado pelo controlador de temperatura visto na parte “(e)”. Já a porção “(c)” compreende a bomba responsável por alimentar o destilador, cujo controle de rotação é realizado pelo PWM visto na parte “(d)”. Em seguida, a parte “(g)” traz o filtro instalado na alimentação de água do sistema. Por último, na parte “(f)” estão os displays para monitoramento das temperaturas dos reservatórios e do ambiente (Ferreira; Furtado, 2024).

É possível observar que os insumos e procedimentos técnicos descritos nessa tecnologia são relativamente simples e disponíveis no mercado, fato que indica boa possibilidade de aplicação das técnicas apresentadas. Além disso, a abordagem feita enquadra-se como um processo de reúso em cascata.

Ramanamane e Pita (2025) trabalharam numa tecnologia centrada no desenvolvimento de um sistema de filtração de óleo-água de alto desempenho, utilizando partículas de quartzo enriquecidas com nanopartículas hidrofílicas, para aprimorar as tecnologias de separação de óleo-água. Atualmente, vários métodos de filtração, incluindo membranas poliméricas, membranas cerâmicas, adsorção de carvão ativado e eletrocoagulação, têm sido amplamente utilizados para separação de óleo e água. Peculiarmente, cada tecnologia apresenta vantagens distintas e limitações baseadas na eficiência de separação, resistência à incrustação, complexidade operacional, e sustentabilidade de custos.

Os resultados para o processo de tratamento foram satisfatórios, indicando a tecnologia como promissora e viável para o reúso de água na indústria. Foi confirmado que um revestimento de nanopartículas hidrofílicas de camada única em membranas de filtração de quartzo fornece o equilíbrio ideal entre permeabilidade, eficiência de separação óleo-água e estabilidade estrutural (Ramanamane; Pita, 2025). Desse modo, essa tecnologia faz parte da tipologia de reúso de efluentes tratados na indústria, uma vez que é baseada em processos de tratamento dos efluentes.

Por oportuno, para a prática adequada do reúso industrial deve ser identificada a qualidade mínima da água necessária para um determinado processo ou operação industrial. A partir daí, após estudos de tratabilidade dos efluentes, define-se o sistema de tratamento que produza água com qualidade compatível com o processo industrial (SEBRAE, 2005).

No geral, é possível observar avanços na otimização de processos internos e nas tecnologias de separação e tratamento mais eficientes. Porém existem barreiras

econômicas, regulatórias e operacionais que limitam a difusão dessas tecnologias, especialmente para empreendimentos de pequeno porte. Ademais, é pertinente lembrar que alguns setores necessitam de regulamentação específica em relação à qualidade de água a ser utilizada. No caso do setor industrial, cada indústria tem uma necessidade diferente da outra e isso pode onerar desnecessariamente a água de reúso para um determinado fim, caso haja uma universalização da parametrização (CEBDS, 2022).

2.3.3 Reúso em edificações e uso urbano

Nesta categoria, os estudos abordam sistemas descentralizados e integrados, voltados à economia hídrica tanto em edificações quanto em ambientes urbanos de forma geral. Foram elencadas tecnologias inovadoras que envolvem o aproveitamento de águas pluviais, associados a tratamento preliminar, processos de filtragem e *Wetland* de fluxo híbrido. Além disso, foram feitas análises de viabilidade de aproveitamento de ETE's para o reúso urbano e proposta uma metodologia para avaliação da viabilidade de projetos de reúso.

É válido destacar que existem leis nacionais e normas técnicas da associação brasileira de normas técnicas – ABNT que regulamentam a prática do reúso em edificações e uso urbano, estabelecendo requisitos importantes para a eficiência dos sistemas e segurança dos usuários.

A Lei 14.546/2023 dispõe que a União estimulará o uso das águas de chuva e o reúso não potável das águas cinzas em novas edificações e nas atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais. Outrossim, determina que as águas de chuva e as águas cinzas devem passar por processo de tratamento que assegure sua utilização segura, previamente à acumulação e ao uso na edificação (BRASIL, 2023).

Acerca das possibilidades de utilização de fontes alternativas de água não potável em uma edificação, destacam-se o reúso de água (cinza e negra), aproveitamento da água pluvial, água de chuva, água clara e água de rebaixamento de lençol freático (ABNT, 2019). Quanto aos usos não potáveis em edificações contemplam sistemas de resfriamento a água, descargas de bacias sanitárias e mictórios, lavagem de veículos, lavagem de pisos, reserva técnica de incêndio, uso ornamental e irrigação paisagística (CBIC, 2019; ABNT, 2019).

Ainda nesse contexto os parâmetros de qualidade da água a serem atendidos são: *Escherichia coli* (<200/100 mL), turbidez (< 5,0 uT e pH entre 6,0 e 9,0. Todos eles devem ter frequência mínima de amostragem semestral. Por fim, é necessário um pré-tratamento antes da reservação e, se necessário, tratamento por processos físicos e/ou químicos (CBIC, 2019; ABNT, 2019).

Nesse sentido, os artigos científicos trouxeram abordagens que se conectam diretamente com os preceitos normativos discutidos. Sant'Ana *et al.* (2023) estudaram a integração de sistemas de captação de águas pluviais e tratamento de águas cinzas em edifícios de escritórios em Brasília, no Distrito Federal. Inicialmente foram analisados os desempenhos de sistemas de aproveitamento das águas de chuvas e de sistemas de reúso de águas cinzas separadamente. Como resultado, o aproveitamento das águas de chuva em sistemas de ar-condicionado, irrigação e lavagem de pisos trouxeram benefícios econômicos equivalentes a cento e trinta e dois metros cúbicos por edificação por ano, enquanto o reúso de água cinza em descarga sanitária acarretou economias de setecentos e vinte metros cúbicos por edificação por ano.

Todavia, constataram que aproveitar a água de chuva em descargas sanitárias demonstrou-se tecnicamente inviável, pois não há área de cobertura suficiente para suprir a demanda de água necessária. Por outro lado, a oferta de água cinza seria insuficiente para atender à demanda em descargas sanitárias e em outros usos não potáveis. Diante disso, estrategicamente propuseram a combinação desses sistemas de forma complementar e chegaram à conclusão de que o sistema unificado é capaz de promover economias equivalentes a 851 m³ por edificação por ano, o que representaria uma redução na demanda urbana de água de aproximadamente 85.983,32 m³/ano e de R\$ 442.814,10 nas despesas de exploração por ano.

As pesquisas realizadas por Vigneswaran *et al.* (2025) exploraram melhorias em relação ao reaproveitamento das águas pluviais. O ponto de partida foi o cenário atualmente predominante, em que os sistemas de tratamento usuais não alcançam a qualidade necessária para o reúso, além do que o alto volume das águas de chuva torna-se uma barreira para o armazenamento, sobretudo nos centros urbanos com espaços limitados. Diante disso, a incorporação de pré-tratamento pode melhorar a qualidade da água armazenada, tornando-a mais adequada para reúso benéfico.

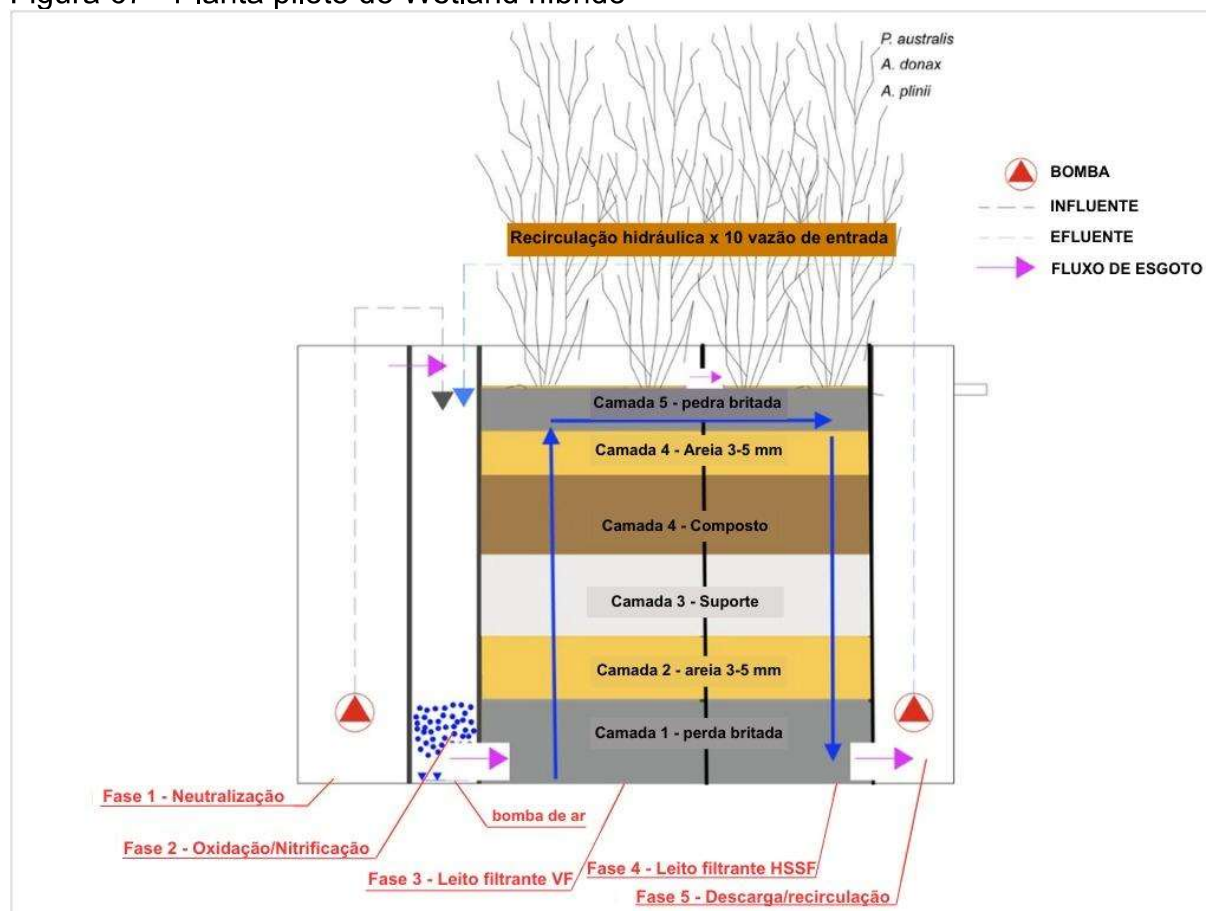
Nesse cenário, os autores observaram que diversos meios filtrantes, como os encontrados em telhados verdes, sistemas de biorretenção e valas, removem com

eficácia poluentes como nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e micro poluentes. Também, os filtros de carvão ativado granular (CAG) são excelentes na redução de metais pesados e carbono orgânico dissolvido, com pré-triagem por meio de filtros de antracito para estender a vida útil do CAG, retendo sedimentos e poluentes. Salientaram ainda que o gerenciamento de contaminantes emergentes e microplásticos permanece pouco explorado e requer mais investigação.

Ainda na perspectiva do reúso de águas pluviais, uma inovadora solução baseada na natureza, usando um *Wetland* construído de fluxo híbrido com as macrófitas aquáticas *Arundo donax*, *Phragmites australis* e *Juncus acutus*, foi testada em escala piloto para atender aos padrões de qualidade para águas residuais reutilizáveis. Destaca-se que as macrófitas usadas foram capazes de crescer sem quaisquer sinais de toxicidade e que o sistema apresentou eficiência na remoção dos poluentes presentes (Tammone *et al.*, 2025).

A Figura 20 esquematiza a zona úmida de fluxo híbrido em questão, mostrando a sua planta piloto.

Figura 67 - Planta piloto do Wetland híbrido



Fonte: Autoria própria (adaptado de Tammone *et al.*, 2025).

Oportunamente, é importante frisar que o aproveitamento das águas pluviais desempenha papel estratégico semelhante ao reúso, posto que reduz a pressão sobre os mananciais superficiais e subterrâneos, diminui o consumo de água potável e contribui para sistemas urbanos mais resilientes.

Em outra abordagem, Soares *et al.* (2025) analisaram a adequação das águas tratadas de Estações de Tratamento de Esgoto - ETE's em Minas Gerais para o reúso de água urbano. Destaca-se que as ETEs estudadas são dotadas de um processo de tratamento combinado anaeróbio/aeróbio, utilizando Reatores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente (UASB, do inglês *Anaerobic Upflow Sludge Blanket*) seguidos por filtros biológicos percoladores. Em relação aos parâmetros, foram analisados e comparados com a legislação estadual vigente: *Escherichia coli*, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio e pH.

Por conseguinte, concluíram que apesar da estação de tratamento atender aos parâmetros de lançamento de águas tratadas em cursos d'água, DBO e DQO, os parâmetros biológicos ainda não são adequados para o reúso seguro, especialmente quanto aos níveis de coliformes termotolerantes, que excedem os limites recomendados. Desse modo, ficou clara a necessidade da adoção de tratamentos terciários para desinfecção como a desinfecção por cloração, ozonização ou radiação ultravioleta, fundamentais para a redução dos microrganismos remanescentes.

No estudo desenvolvido por Costa Filho *et al.* (2025), foi apresentado um modelo inovador de apoio à decisão para projetos de reúso de água, identificando indicadores e parâmetros relevantes. Com base em uma revisão bibliográfica, foram propostos quatro indicadores ou dimensões (técnica, social, ambiental e econômica) e doze parâmetros (por exemplo, segurança de ETEs, complexidade do transporte, existência de legislação, risco à saúde e ao meio ambiente, consumo de energia, grau de aceitação e investimento necessário e custos de operação e manutenção).

Além disso, o método processo de hierarquia analítica difusa (FAHP, do inglês *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*), descrito na Figura 21, foi utilizado como componente do modelo para determinar os pesos dos indicadores e parâmetros, a fim de permitir o cálculo de um índice de viabilidade de reúso de água (RFI, do inglês *water reuse potential feasibility index*).

Figura 68 - Peso dos indicadores e parâmetros locais e globais

Indicador	Peso Local C_i	Parâmetros	Peso Local C_{ij}	Peso Global W_{ij}
Técnico	0,354	Complexidade do transporte	0,340	0,12
		Segurança e resiliência da ETE	0,391	0,14
		Existência de legislação	0,268	0,1
Social	0,242	Grau de aceitação	0,435	0,11
		Grau de necessidade	0,332	0,08
		% de coleta e tratamento de esgoto	0,233	0,06
Ambiental	0,132	Risco à saúde pública	0,676	0,09
		Consumo de energia da ETE	0,130	0,02
		Risco ao meio ambiente	0,194	0,03
Econômico	0,272	Investimento necessário	0,373	0,1
		Taxas de operação e manutenção	0,133	0,04
		Benefícios econômicos	0,493	0,13

Fonte: Adaptado de Costa Filho *et al.* (2025).

Complementarmente, a Figura 22 sistematiza o cálculo do índice de viabilidade de reúso de água.

Figura 69 - Índice de viabilidade de reúso de água

Adota-se: $W_{ij} = C_i \times C_{ij}$ e $RFI = \left[\sum (W_{ij} \times K_{ij}) \right] \times 100$

	RFI (%)	Classificação
Índice de viabilidade de reúso de água (RFI)	81-100	Viabilidade muito alta
	61-80	Alta viabilidade
	41-60	Viabilidade média
	21-40	Baixa viabilidade
	0-20	Viabilidade muito baixa

Fonte: Adaptado de Costa Filho *et al.* (2025).

Os autores aplicaram o modelo proposto na cidade de Aquiraz, Ceará, Brasil. Nesse contexto, o índice de viabilidade de reúso de água (RFI) determinado foi de oitenta e dois por cento, o que significa que o projeto de reúso de água apresentou viabilidade muito alta. Este resultado sugere um forte potencial para a implementação de iniciativas de reúso de água na região. Ressalta-se ainda que a lista de indicadores e parâmetros propostas não é exaustiva, podendo ser incluídos outros fatores relevantes, dependendo do contexto local e dos requisitos específicos de cada projeto.

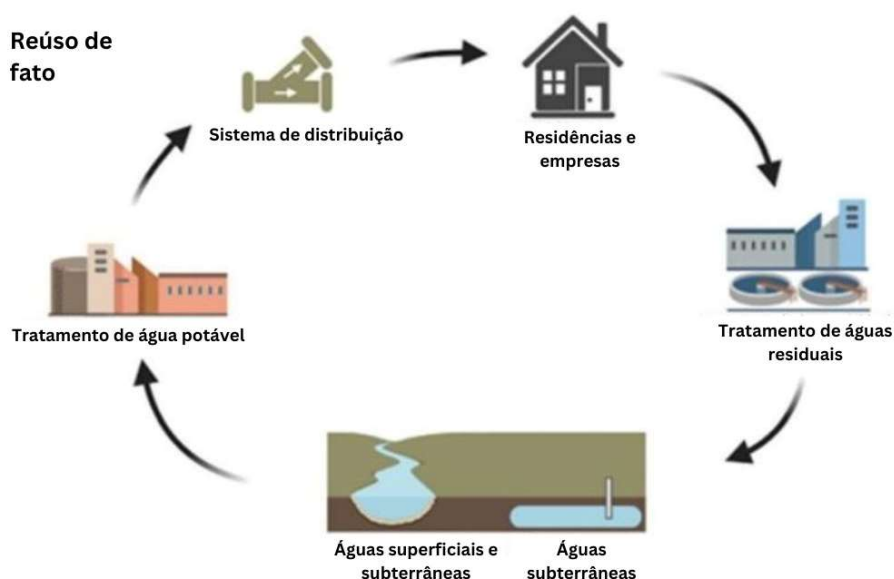
2.3.4 Reúso potável

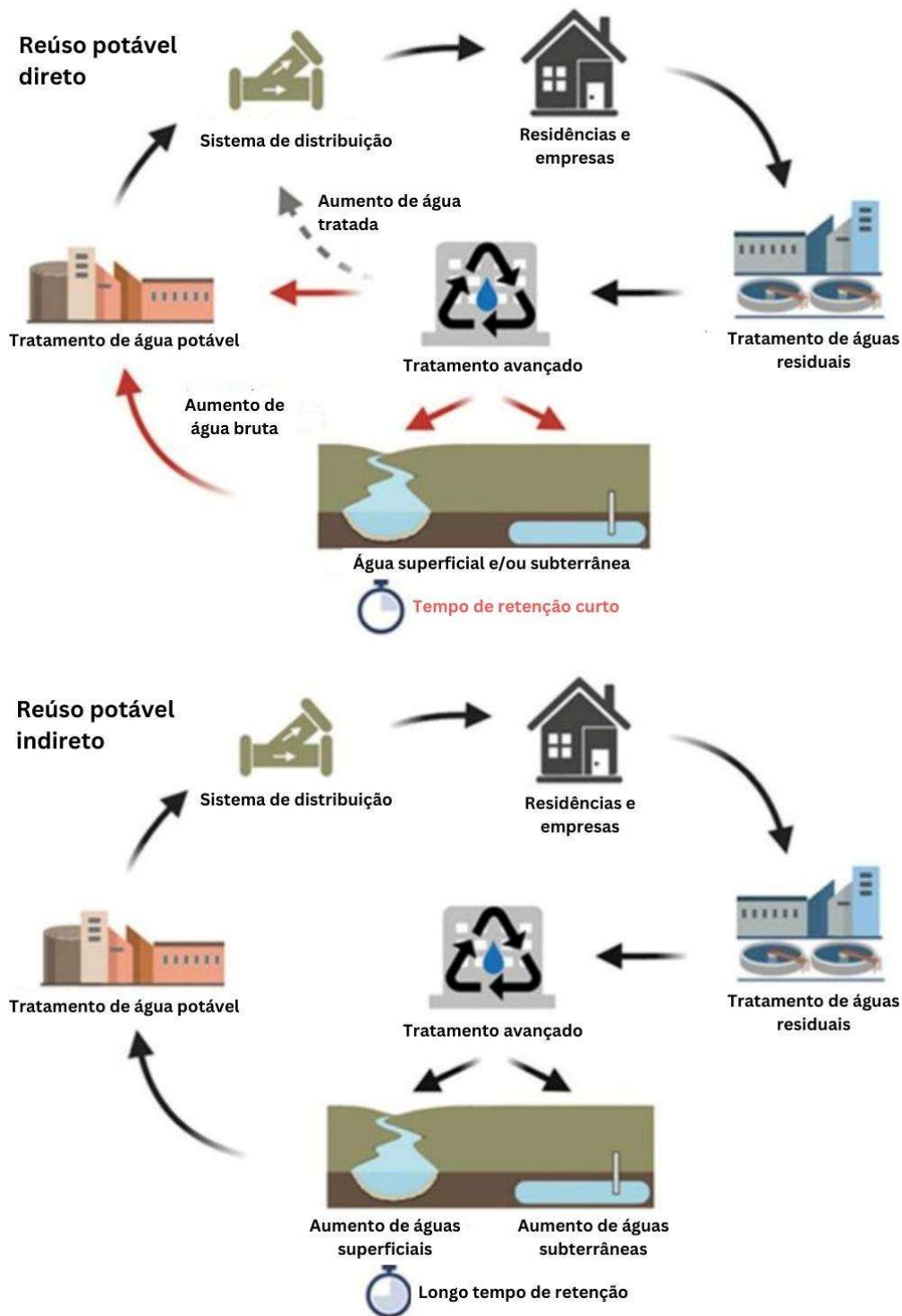
A categoria de reúso potável envolve particularidades em relação aos controles de qualidade e gerenciamento dos riscos à saúde humana, tendo em vista o potencial de veiculação de doenças que a água possui. Essa modalidade de reúso é a de maior risco e, para mitigá-los, costuma-se realizar processos tratamento avançados múltiplos e associados.

Em uma abordagem disruptiva Clements *et al.* (2025) realizaram avaliações quantitativas de risco microbiano (QMRA, do inglês *quantitative microbial risk assessments*) sobre reúso potável da água. Nessa perspectiva, foram contemplados o reúso potável direto, o reúso potável indireto e o reúso de fato, além de uma variedade de patógenos, incluindo norovírus, adenovírus, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Campylobacter* e *Salmonella*.

Segundo os autores o reúso potável indireto envolve o descarte planejado de água reciclada em uma área de proteção ambiental, como um aquífero, rio ou lago, antes de ser tratada e utilizada como água potável. O reúso potável direto, por seu turno, ocorre quando a água é tratada e adicionada ao sistema de água potável por meio de aumento de água bruta (a montante da estação de tratamento de água potável) ou aumento de água tratada (no sistema de distribuição). Por fim, o reúso de fato ocorre quando há influência não planejada ou acidental de águas residuais na fonte de água potável de uma comunidade. A Figura 23 ilustra as diferenças entre os reúsos potáveis.

Figura 70 - Diferenças entre os reúsos potáveis





Fonte: Adaptado de Clements *et al.* (2025).

Os estudos demonstraram que há muitos fatores que impactam os riscos estimados por QMRAs de reúso potável, incluindo a proporção assumida de cópias de genes para unidades infecciosas, o volume e a frequência assumidos de ingestão de água, se a simulação foi dinâmica ou estática e se a modelagem bayesiana foi usada. No entanto, as QMRAs devem considerar os impactos que suposições críticas, como

frequência de ingestão, concentrações de patógenos, processos de tratamento da unidade e falhas de tratamento, têm sobre o risco (Clements *et al.*, 2025).

Em uma perspectiva mais ampla sobre o reúso potável direto com ênfase nos patógenos virais e compostos perfluorados, Abbaszadegan *et al.* (2025) estudaram os tratamentos aplicáveis para o esse tipo de reúso. Baseados em diversas pesquisas e aplicações no Estados Unidos da América, eles indicaram um fluxo estratégico das principais tecnologias de tratamento de água que são empregadas no reúso direto potável, em duas fases. Na primeira fase, são realizadas as etapas sequenciais: triagem, biorreator de membrana, desinfecção por cloramina, osmose reversa, processo de oxidação avançada ultravioleta. Na segunda fase, é feita a mistura de água subterrânea e água tratada na proporção 1:1 em um tanque, seguido de ultrafiltração, desinfecção ultravioleta, carvão ativado granular e cloração, antes de ir para o sistema de distribuição.

Adicionalmente, os autores salientaram que o reúso de águas residuais acarreta, intrinsecamente, maiores riscos à saúde pública. Por isso, é essencial a realização de monitoramentos confiáveis através de sensoriamento para propriedades físicas e detecções microbianas, especialmente em tempo real, complementando os resultados das análises de amostras já habitualmente realizadas. Ressaltaram ainda a importância da sustentabilidade dos processos de tratamento avançados, tendo em vista que as técnicas empregadas são de elevada demanda energética.

Outra tecnologia emergente abordada consiste em usar o sequenciamento *Shotgun* para caracterizar a diversidade filogenética e funcional em cada ponto dentro de um sistema de tratamento de reúso potável. Os testes foram feitos no sul da Califórnia, em um processo de tratamento sequenciado em: clarificação primária, lodo ativado com nitrificação e desnitrificação parcial, filtração terciária, ozonização, filtração biológica de carvão ativado, filtração por membrana, osmose reversa e oxidação avançada/UV. Para o monitoramento, amostras foram coletadas de águas residuais não tratadas e do efluente de cada processo de tratamento. Por fim, os dados revelaram mudanças significativas na composição da comunidade microbiana, sobretudo na diversidade filogenética e funcional em cada ponto do sistema de tratamento de reúso potável (Wong *et al.*, 2025).

As pesquisas realizadas por Specker *et al.* (2025) partiram do princípio de que a presença onipresente de substâncias químicas de interesse emergente (SQIE) em

sistemas naturais, especialmente no ambiente aquático, representa um obstáculo significativo ao reúso da água e ao ambiente receptor. Diante disso, estudaram os riscos envolvidos no reúso potável indireto e reúso agrícola e, com base nos quocientes de risco calculados, identificaram riscos ecológicos para ácido perfluorooctanossulfônico, clorpirifós, triclocarbono e etinilestradiol, e riscos à saúde humana para ácido perfluorooctanossulfônico e ácido perfluorooctanóico.

No que tange ao reúso indireto potável, uma avaliação completa dos riscos de SQIEs durante o reúso da água é atualmente limitada devido ao foco em uma classe definida de contaminantes na literatura, ou seja, produtos farmacêuticos, e fica aquém das substâncias perfluoroalquiladas e polifluoroalquiladas. Finalmente, alertaram que os sistemas de reúso de água devem ser completamente compreendidos e gerenciados antes que o reúso intencional de água possa ser implementado em larga escala para garantir riscos aceitáveis.

Dessa forma, observa-se que essa categoria de reúso necessita de mais avanços, sobretudo na parte regulatória brasileira para viabilizar efetivamente a prática do reúso. Isso porque a definição de parâmetros adequados é fundamental para balizar os processos de tratamento empregados, de uma forma eficaz e viável técnico-economicamente. Apesar disso, foi constatado avanços quanto às técnicas de tratamento, avaliação de risco à saúde pública e monitoramento.

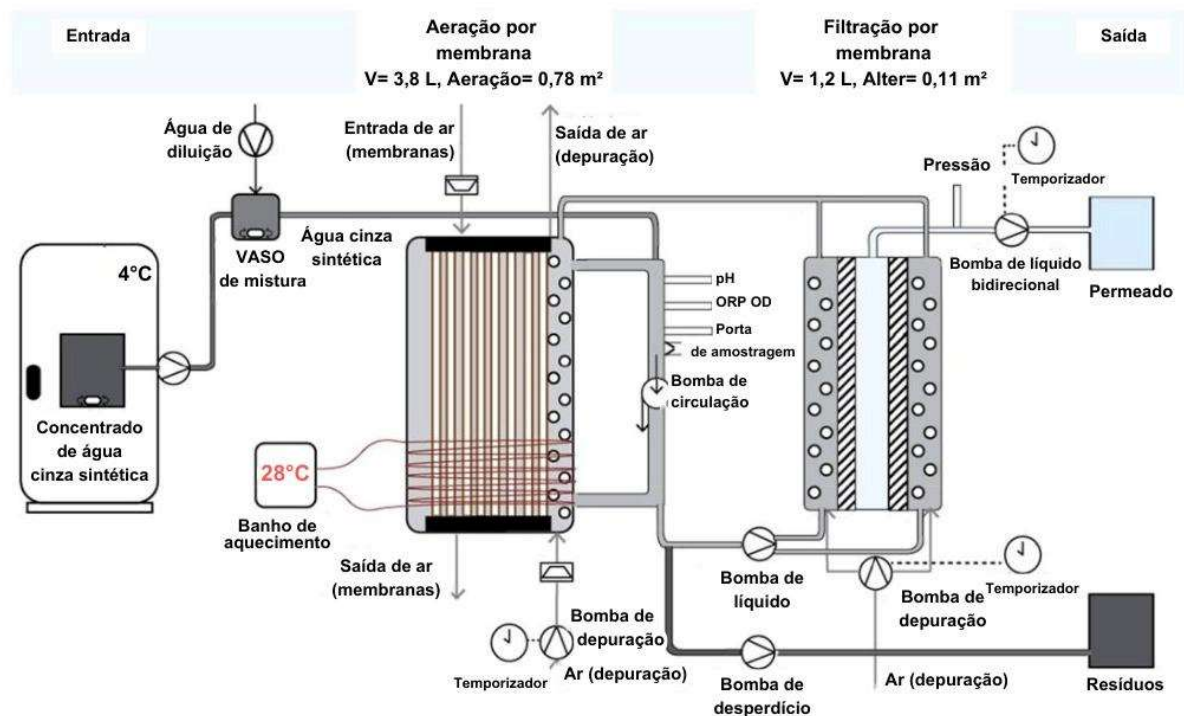
2.3.5 Outras aplicações Inovadoras

Nesse eixo temático, foram abordadas tecnologias inovadoras de tratamento com ênfase para os reúsos não-potáveis em suas diferentes modalidades, avaliações de riscos e aspectos de gestão hídrica. O foco recai sobre usos estratégicos do reúso de água, voltados a setores energéticos renováveis, industriais e de recuperação de recursos.

Foi notória a proposição de tecnologias de tratamento para o reúso de água através de processos de filtração com membranas aeradas em biorreatores, filtração direta descendente e ultrafiltração. Esses processos apresentam um bom potencial de aplicação, uma vez que apresentam capacidade de remoção de contaminantes satisfatória.

Timmer *et al.* (2025) investigaram um novo biorreator de membranas aeradas por bolhas (MA-MBR) que integra aeração e filtração por membrana para reduzir o consumo de energia e a pegada do sistema, permitindo o reúso não potável com eficiência de recursos. Os resultados obtidos indicaram o MA-MBR como uma alternativa de baixa demanda energética e baixa incrustação para remoção de carbono de águas residuais com relações DQO/N relativamente altas e pode melhorar a eficiência de recursos para reúso de água não potável, por exemplo, em aplicações descentralizadas de separação na fonte. A Figura 24 detalha o diagrama de fluxo do processo de tratamento do reator MA-MBR.

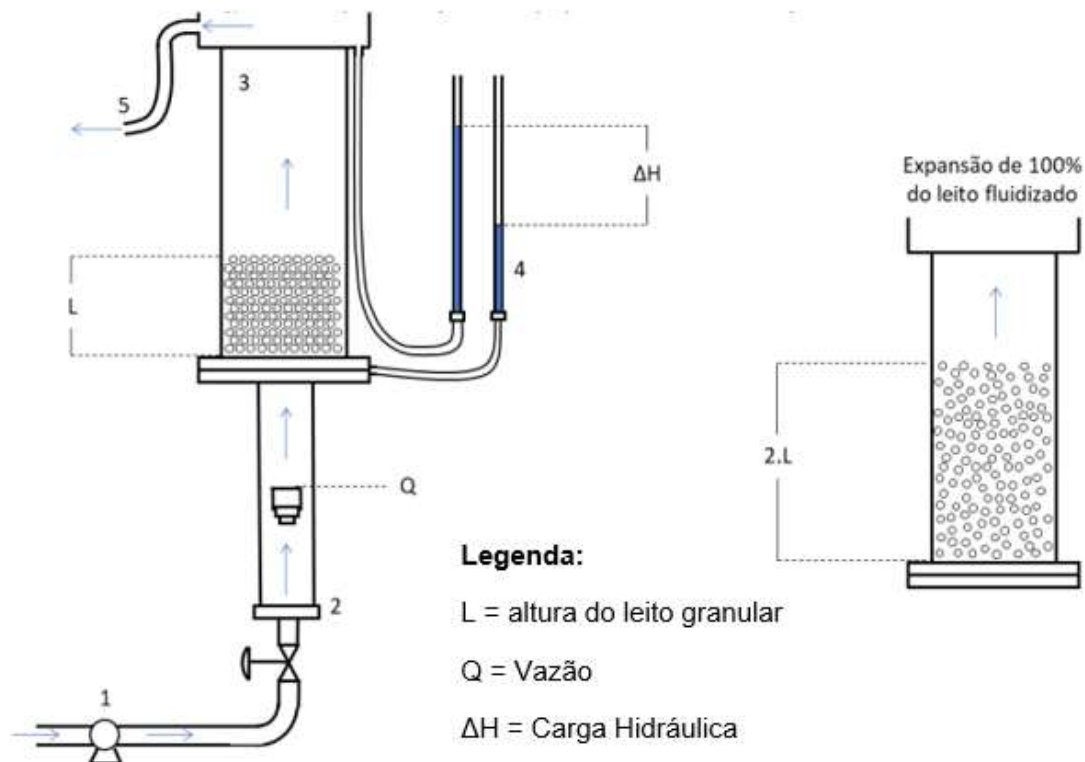
Figura 71 - Diagrama do fluxo de processo do reator MA – MBR



Fonte: Adaptado de Timmer *et al.* (2025).

Outra tecnologia pesquisada foi quanto ao uso da Filtração Direta Descendente (FDD) para a produção de água de reúso, relacionado a etapa de retrolavagem do leito granular. A tecnologia de FDD (Figura 25) se potencializa como uma alternativa simples e de baixo custo, por se basear em dois processos: uma etapa química, a coagulação e outra etapa física, filtração em areia. Destaca-se que no fim da carreira de filtração, quando os filtros são colmatados, as impurezas devem ser retiradas para uma nova filtração, efetuando-se a retrolavagem do filtro (Trecossi *et al.*, 2023).

Figura 72 - Equipamento de fluidização de areia



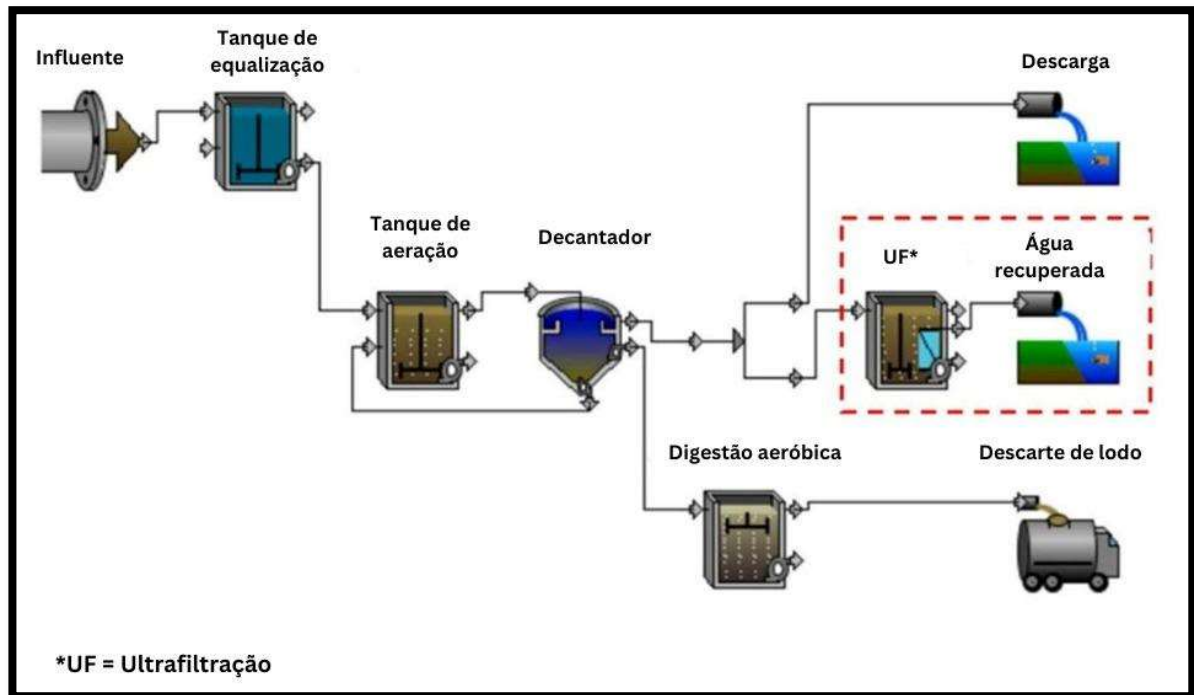
Fonte: Adaptado de Trecossi *et al.* (2023).

É necessário frisar ainda que a granulometria e a altura do leito influenciam no volume de água utilizado na lavagem, sendo as partículas de grãos menores, com menor altura de leito, 0,93 mm e 10 cm, respectivamente, consumiram menor volume (Trecossi *et al.*, 2023).

Mannina *et al.* (2025) destacaram que na União Europeia os parâmetros de qualidade das águas residuárias estão cada vez mais rigorosos e desafiadores. Em virtude disso, os processos avançados de tratamento baseados em membranas combinados com modelos matemáticos podem ser uma boa solução para enfrentar esses desafios. Nessa perspectiva, realizaram uma comparação em Corleone, na Itália, usando análise de sensibilidade, incerteza e calibração em dois estudos de caso entre dois novos modelos mecânicos de ultrafiltração: um módulo GPS-X personalizado (Modelo 1) e um modelo matemático feito sob medida (Modelo 2).

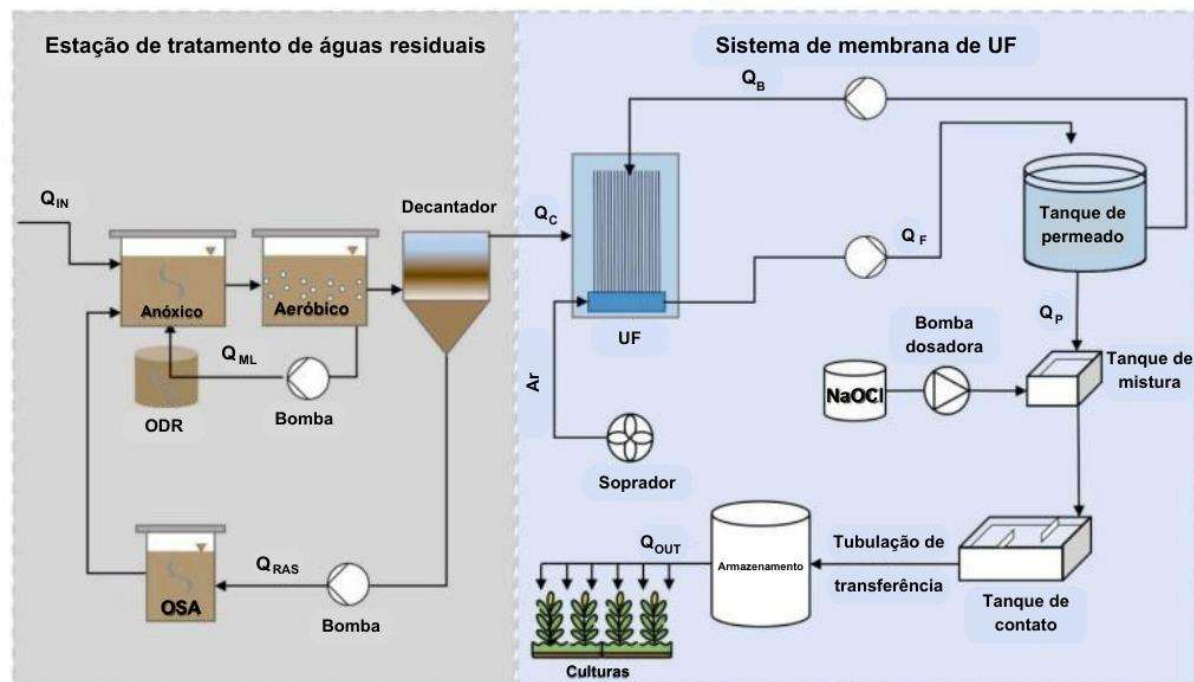
A Figura 26 mostra a configuração da ETE no primeiro estudo de caso, enquanto a Figura 27 descreve o *layout* para o segundo estudo de caso.

Figura 73 - Layout da ETE Corleone no GPS- X



Fonte: Adaptado de Mannina *et al.* (2025).

Figura 74 - Layout do sistema Piloto e membrana UF para recuperação da água



Legenda: ODR – Reator de esgotamento de oxigênio; OSA - óxido-sedimentação-anaeróbica; Q: Vazão, UF- Ultrafiltração,
Fonte: Adaptado de Mannina *et al.* (2025).

Os resultados mostraram uma maior capacidade do Modelo 2 para simular incrustações de membrana e qualidade da água. O Modelo 1 falhou em prever a pressão

transmembrana e mostrou um tempo de simulação mais longo. Ambos os modelos forneceram incerteza aceitável na previsão das concentrações de permeado e forte capacidade de previsão de DQO e nitrogênio total. Em síntese, o Modelo 2 é mais confiável para facilitar a ultrafiltração para tratamento avançado, de tal forma que aplicações futuras dele poderão ser realizadas em outras plantas em escala real, visando melhor interpretar a robustez de suas previsões. (Mannina *et al.*, 2025).

Também foi possível constatar abordagens inovadoras cujas práticas de reúso estão associadas à recuperação de petróleo, ao sequestro de carbono, à produção de hidrogênio e às energias renováveis. Portanto, essas abordagens estão alinhadas com a agenda 2030 e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente com o ODS 6 – assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, o ODS 7 – energia acessível e limpa e com o ODS 12 – consumo e produção responsáveis.

Nesse viés, foi avaliada a viabilidade do reúso de água produzida no Novo México, investigando as opções de reúso sob a ótica de políticas e impactos ambientais. Foi abordada a reutilização de água para recuperação avançada de petróleo, visto que o volume excedente habitualmente é destinado à recarga de aquíferos. Outra aplicação relevante foi o sequestro de carbono por meio da injeção de água carbonatada, tendo em vista que através desse processo, o CO₂ é adicionado à água recuperada antes de ser reinjetado no subsolo (Cull-Host *et al.*, 2025).

Em um estudo tecnológico realizado na Cidade de Shahriar, no Irã, através de modelagem hidráulica e análise de sistema de informação geográfica, um tanque cilíndrico de aço de 50 m³ foi projetado para fornecer água potável em emergências, integrando bombas alimentadas por energia solar e válvulas de fechamento avançadas para aumentar a resiliência e a sustentabilidade. Para usos não potáveis, como irrigação e combate a incêndios, águas residuais tratadas foram utilizadas de forma eficaz, com o apoio de uma estação de bombeamento e rede de distribuição sob medida (Shamsaeifar *et al.*, 2025).

Outra oportunidade vantajosa elencada foi a utilização de águas residuais tratadas para a produção de hidrogênio, pois pode desempenhar um papel duplo, tanto no auxílio ao uso de energias renováveis, como eólica e solar, quanto na utilização de energia solar fotovoltaica para reutilização benéfica. Dessa forma, as principais conclusões incluem a adequação da produção de hidrogênio e da extração de minerais,

sujeitas a estratégias de tratamento direcionadas e ajustes regulatórios contínuos (Cull-Host *et al.*, 2025).

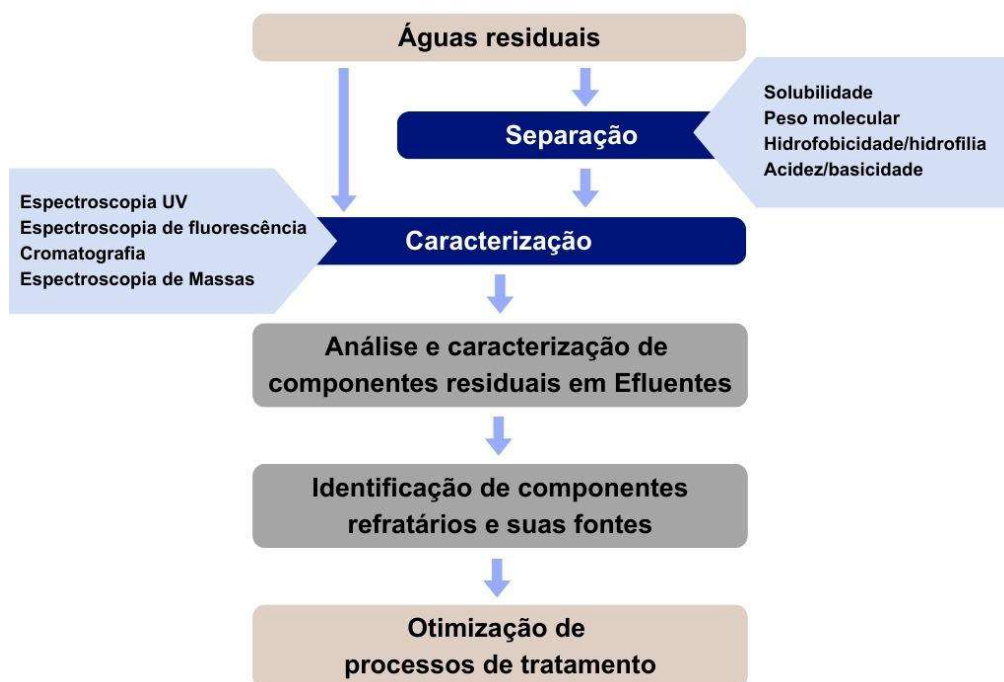
Dessa forma, evidenciou-se a importância de estratégias integradas de gestão hídrica, incluindo sistemas de energia solar e reúso de águas residuais tratadas, para aumentar a resiliência contra desastres naturais. Os projetos propostos garantem o abastecimento sustentável de água e a gestão eficaz de crises para consumo humano e não potável, sobretudo em áreas urbanas de alto risco (Shamsaeifar *et al.*, 2025).

É importante salientar que o estado do Ceará é um polo de desenvolvimento de hidrogênio verde (H₂V) com forte potencial devido ao sol, vento e localização geográfica. Além do mais, desde 2021 existe inclusive um HUB de Hidrogênio Verde no Complexo do Pecém/CE, que atua no desenvolvimento de projetos sustentáveis com grande impacto econômico e social (CEARÁ, 2024). Assim, a possibilidade de aplicação do reúso de água associada à produção de hidrogênio é uma tecnologia importante e estratégica em ascensão.

No que se refere à análise de qualidade da água, além da tradicional avaliação de DBO e DQO, uma nova metodologia é feita por meio de um sistema de avaliação multidimensional que abrange quatro indicadores primários: concentração quantitativa, características composicionais, potencial de transformação e efeitos toxicológicos. Essa metodologia visa atender às demandas de tratamento de águas residuais de alto padrão e reúso de água (Chen *et al.* 2025).

Para tanto, de acordo com características como peso molecular, biodegradabilidade e hidrofiliicidade dos poluentes presentes nas águas residuais, diferentes tecnologias de tratamento são selecionadas. Portanto, é possível avaliar a tratabilidade e os riscos potenciais investigando as características da composição das águas residuais, selecionando assim a tecnologia de tratamento ideal (Chen *et al.*, 2025). A Figura 28 mostra a identificação de componentes refratários em águas residuárias.

Figura 75 - Componentes refratários em águas residuárias



Fonte: Adaptado de Chen *et al.* (2025).

Não obstante, além da previsão e seleção de tecnologias adequadas de tratamento de água, a análise das características da água pode fornecer uma avaliação objetiva e abrangente do estado operacional do tratamento existente e identificar os problemas atuais com suas causas, proporcionando melhorias científicas e viáveis para aumentar a eficácia do tratamento de águas residuais (Chen *et al.*, 2025).

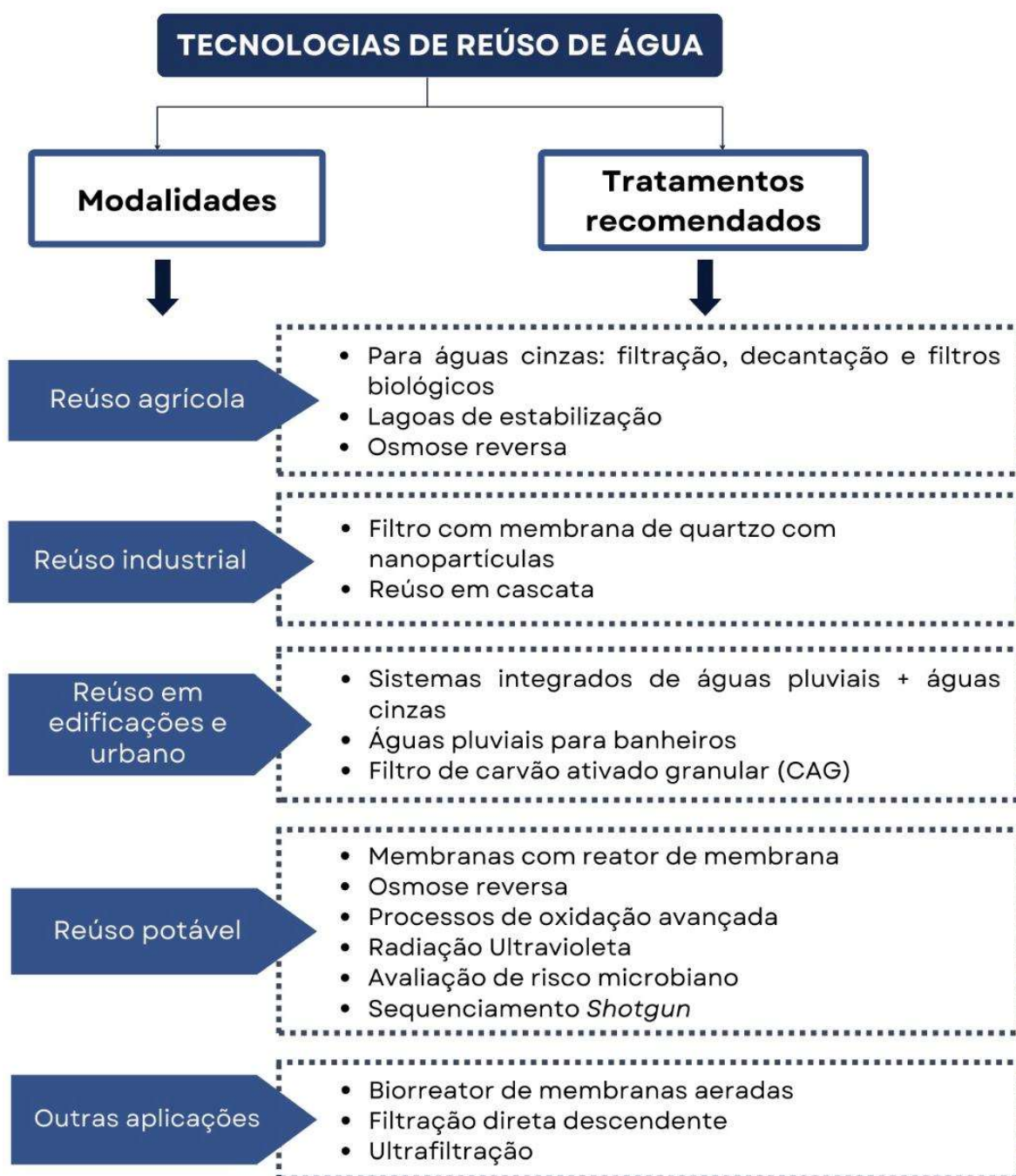
Outrossim, as pesquisas desenvolvidas por Ferri e Bolelli (2025) versaram sobre os desafios do reúso de água, considerando procedimentos relacionados tanto em escala laboratorial quanto em escala real. Conforme sua origem e seu uso previsto, cada água residual precisa de um tratamento específico, uma infinidade de materiais novos ou aprimorados, combinações de diferentes tratamentos e análises de verificação são continuamente desenvolvidos e testados em escala laboratorial. Por outro lado, em relação aos testes em escala real, ainda existe uma carência relevante, muito em função da complexidade química, grande variedade de diferentes tipos de água a serem remediados, dentre outros problemas tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais.

Desse modo, as orientações obtidas pela experiência e pela literatura foram priorizar procedimentos híbridos e multietapas para obter água de alta qualidade, além de incentivar sistemas descentralizados domésticos, muito promissores no contexto da

economia circular, para evitar perdas de água ou criar fontes de água (Ferri; Bolelli, 2025).

Diante dos resultados expostos, foi possível sistematizar as tecnologias de reúso de água em alta e emergentes conforme a bibliografia mais recente. Nesse sentido, recomendou-se as possibilidades de tratamento para cada modalidade de reúso de água pretendido, através de um fluxograma ilustrado pela Figura 29.

Figura 76 - Componentes refratários em águas residuárias



Fonte: Autoria própria, 2025.

3. REÚSO DE ÁGUA EM PATENTES

3.1 PATENTES E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

A patente pode ser definida como um direito exclusivo concedido pelo Estado relativo a uma invenção (ou modelo de utilidade), que atende ao requisito de novidade, envolve uma atividade inventiva (ou ato inventivo) e é suscetível de aplicação industrial (INPI, 2013).

O requisito da novidade é cumprido quando a invenção ou modelo de utilidade não estão compreendidos no estado da técnica, ou seja, são inéditos. Quanto à aplicação industrial ocorre quando podem ser utilizados ou produzidos em qualquer tipo de indústria. Por seu turno, a atividade inventiva é atendida por uma invenção sempre que, para um técnico no assunto, não decorra de maneira evidente ou óbvia do estado da técnica. De modo análogo, o ato inventivo existe no modelo de utilidade sempre que, para um técnico no assunto, não decorra de maneira comum ou vulgar do estado da técnica (BRASIL, 1996).

O direito assegurado pela patente concede ao seu titular a exclusividade da exploração de uma tecnologia, por um tempo, contado da data de depósito, limitado a vinte anos para a patente de invenção e a quinze anos para o modelo de utilidade, de forma que após a conclusão dos respectivos prazos a patente entra em domínio público (BRASIL, 1996).

Assim, como contrapartida pelo acesso do público ao conhecimento dos pontos essenciais do invento, a lei dá ao titular da patente um direito limitado no tempo, no pressuposto de que é socialmente mais produtiva em tais condições a troca da exclusividade de fato (a do segredo da tecnologia) pela exclusividade temporária de direito (Barbosa, 2003).

No que se refere à transferência de tecnologia para o mercado, a patente é um instrumento que aumenta a capacidade de um empresário em tirar proveito das suas invenções. Entretanto, salienta-se que para fornecer uma vantagem tangível a um empresário, uma patente tem de ser explorada eficazmente e, geralmente, dará dinheiro apenas se o processo ou produto baseado na patente tiver sucesso no mercado

e melhorar a reputação da firma, bem como aumentar o seu poder de negociação (INPI, 2013).

Para que uma invenção patenteada tenha acesso ao mercado, o titular, seja pessoa física, seja pessoa jurídica, tem algumas opções: comercializar a invenção patenteada diretamente; vender (cessão) a patente a outra pessoa; conceder licenças de patente a outras pessoas; celebrar uma parceria ou realizar uma aliança estratégica com outros empresários que tenham recursos complementares. Ainda nesse sentido, é importante frisar que existem três tipos de acordos de licença, conforme o número de licenciados autorizados a utilizar a patente (INPI, 2013):

- Licença exclusiva: somente o licenciado estará autorizado a explorar a tecnologia patenteada, sendo que essa exploração não pode ser utilizada sequer pelo titular da patente;
- Licença única: somente o licenciado e o titular da patente têm o direito de explorar a tecnologia patenteada. O sublicenciamento não é permitido;
- Licença não exclusiva: vários licenciados, incluindo o titular da patente, têm o direito de explorar a tecnologia patenteada.

As patentes atuam como um instrumento institucional que pode tanto facilitar quanto restringir a transferência de tecnologia entre universidades, institutos de pesquisa e empresas. Por um lado, a proteção via patentes cria clareza sobre direitos de exploração e permite contratos de licenciamento que viabilizam a comercialização de invenções acadêmicas; por outro lado, quando a proteção é usada de forma excessiva ou quando há fraca integração entre Núcleos de Inovação Tecnológica - NITs e mercado, as patentes acabam sendo pouco utilizadas como canal de transferência, permanecendo arquivadas sem licenciamentos proveitosos (Póvoa; Rapini, 2010; Viana, 2018).

A literatura empírica global mostra que o efeito das patentes sobre a difusão tecnológica é condicionado pelo contexto institucional: proteção de patentes mais forte tende a atrair investimento direto estrangeiro e certas formas de transferência para países de nível médio de desenvolvimento, mas nem sempre estimula transferência direta de conhecimento para firmas locais de pequena escala; em alguns casos, proteções excessivas reduzem a difusão por bloquear usos secundários do conhecimento (Hall, 2010). Assim, políticas de propriedade intelectual precisam ser

pensadas conjuntamente com mecanismos de incentivo ao licenciamento, apoio a incubadoras e capacitação empresarial para absorção de tecnologia (Póvoa; Rapini, 2010; Viana, 2018).

No que tange às empresas, a transferência de tecnologia é tão prática quanto relacional: as firmas receptoras nem sempre obtêm tecnologia apenas por meio de patentes ou licenças formais — canais informais (consultorias, colaboração em P&D, parcerias com spin-offs e mobilidade de pessoal) são centrais na incorporação do conhecimento tecnológico nas rotinas produtivas. A evidência clássica sobre custo de transferência mostra que a simples transmissão de especificações patenteadas não basta; o know-how tácito, o treinamento e a adaptação local representam custos e barreiras relevantes que influenciam como uma empresa transformará ou não uma patente em vantagem competitiva (Teece, 1977; Britto; Ribeiro; Albuquerque, 2021).

Para o contexto brasileiro, pesquisas empíricas mostram que embora várias universidades tenham aumentado o depósito de patentes e a criação de núcleos de inovação tecnológica - NITs, o licenciamento e a conversão em produtos no mercado ainda são incipientes; fatores apontados incluem déficit de cultura de licenciamento, falta de interlocução entre pesquisadores e empreendedores e limitações na capacidade absorptiva das empresas nacionais. Assim, a forma de transferência de tecnologia adotada dependerá das estratégias, prioridades, perfis e interesses, tanto dos detentores dos ativos de propriedade intelectual, quanto dos atores do eixo mercadológico. Isso demanda políticas de apoio que combinem proteção intelectual com ações de capacitação empresarial e facilitação de contratos de transferência (Póvoa; Rapini, 2010; Viana, 2018; Berisha; Pula, 2015).

3.2 PESQUISA PATENTÁRIA

Na perspectiva de compreender o comportamento e a situação dos depósitos de patentes sobre reúso de água, foram feitas pesquisas e análises de patentes sobre reúso de água com o auxílio do *software Orbit Intelligence* (Questel, 2025). O objetivo foi analisar a evolução e a situação das patentes no cenário mundial, inclusive entendendo a participação do Brasil no contexto mundial. Além disso, buscou-se entender de forma mais específica o panorama dessas patentes depositadas no Brasil nos últimos 20 anos.

Para garantir precisão e segurança nos dados, as pesquisas foram feitas no banco de dados das famílias de patentes, “Fampat”, que agrupa todas as publicações de patentes de uma única invenção. Essas famílias são dinâmicas, uma vez que sua composição muda conforme novas informações são recebidas. É importante frisar ainda que cada patente é única no banco de dados da “Fampat”, de forma que nenhum número de patente pode aparecer em duas famílias distintas (Questel, 2020).

Realizaram-se buscas avançadas no campo de consulta (*query*, do inglês) entre agosto e outubro de 2025, utilizando palavras-chaves em inglês associadas ao operador booleano “OR”, através da combinação: ((SEWAGE?? REUSE??) OR (TREATED WASTEWATER?? REUSE??) OR (WASTEWATER?? REUSE??) OR (WATER?? REUSE??) OR (SEWAGE?? RECYCLING??) OR (TREATED WASTEWATER?? RECYCLING??) OR (WASTEWATER?? RECYCLING??) OR (WATER?? RECYCLING??)) /BI. Por oportuno, foi utilizado na sequência de cada palavra a simbologia “??”, que habilita os resultados com até dois caracteres após cada uma das palavras, tornando a pesquisa mais ampla e assertiva.

Ademais, foi utilizado o comando de índice básico “/BI” (*basic index*, do inglês) como critério de busca, determinando que os pares de palavras da combinação deveriam estar contidos no título (*title*, do inglês) e no resumo (*abstract*, do inglês) do documento. Com o avanço da pesquisa, para melhor compreensão e eficiência dos resultados, foram utilizados filtros como: OPPI, CIDI=YES, STATE/ACT=GARANTED, EAPD, EPRD, BR/PN, BR/EPNC, BR/EPRC e BR/PR, sempre combinados com as consultas anteriores através do operador booleano “AND”.

O Quadro 3 sistematiza cada termo de busca e sua respectiva função de filtragem.

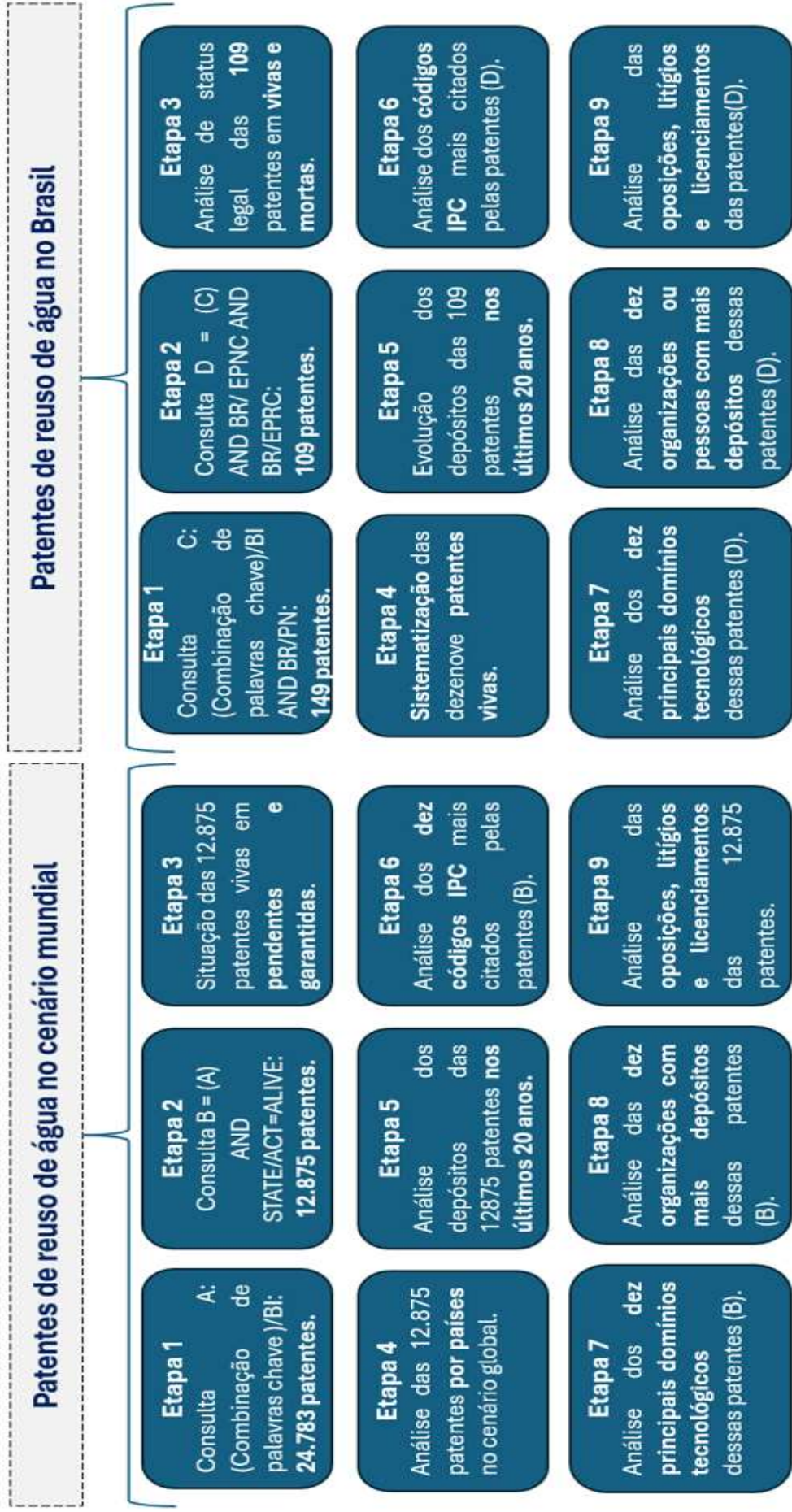
Quadro 3 - Termo de busca estratégicos

COMANDOS ESTRATÉGICOS PARA A BUSCA		
TERMO	SIGNIFICADO	DESCRIÇÃO
BI	Índice básico	Os termos da busca devem constar no título e no resumo da patente.
OPPI	Casos de oposição	Retorna quais patentes tiveram casos de oposição por terceiros.
CIDI	Casos de litígio	Retorna quais patentes tiveram casos de litígios.
STATE/ACT	Estado	Classifica as patentes conforme o estado.
STATUS/ACT	Status	Classifica as patentes conforme o status.
EAPD	Data de aplicação mais antiga	Seleciona as patentes segundo a data de aplicação mais antiga no país.
EPRD	Data de prioridade mais antiga	Seleciona as patentes segundo a data de prioridade mais antiga em dado país.
EPNC	País de primeira publicação	Seleciona as patentes que foram publicadas primeiramente em determinado país.
PN	Todas da publicações no país	Seleciona as patentes que foram publicadas em determinado país.
PR	Todas as prioridades no país	Separar as patentes que tiveram prioridade em dado país.

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

A Figura 30 demonstra o fluxograma das etapas da pesquisa, de acordo os termos de busca utilizados estrategicamente nas linhas de comando conforme a natureza das informações buscadas. É importante ressaltar ainda que tanto no cenário mundial quanto no Brasil o escopo adotado para sequência das etapas foi o da segunda etapa, que contempla os últimos vinte anos.

Figura 77 - Fluxograma de etapas da pesquisa patentária



Fonte: Autoria própria, 2025.

3.3 PANORAMA TECNOLÓGICO

3.3.1 Patentes de reúso de água no cenário global

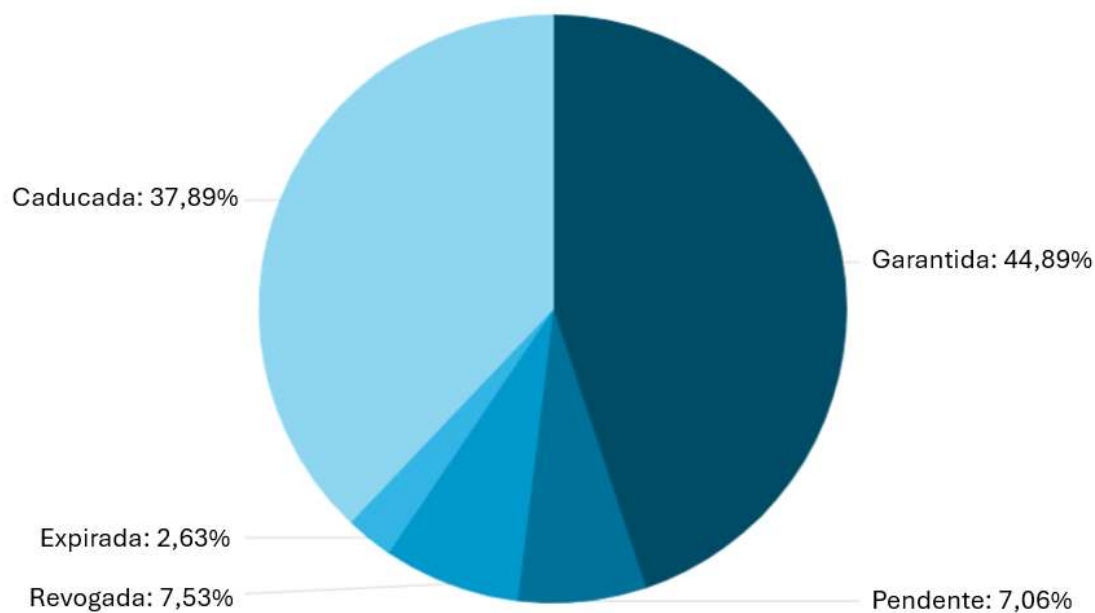
As pesquisas sobre as famílias de patentes realizadas no *Orbit Intelligence* (Questel, 2025), respeitando os critérios e etapas metodológicas descritos, resultaram em um total de 24.783 patentes sobre reúso de água, das quais 12.875 (51,95%) estão vivas e 11.908 (48,05%) estão mortas. É importante esclarecer que o *status* de viva compreende as patentes garantidas ou pendentes, enquanto o *status* de morta contempla as patentes caducadas, revogadas ou expiradas.

A patente está garantida quando o pedido de patente foi concedido e as taxas de manutenção estão sendo pagas em dia. Por outro lado, quando o pedido está atualmente em processamento, mas a patente ainda não foi concedida, a patente está com o *status* de pendente. Acerca do *status* de morta, a patente foi revogada se o pedido tiver sido revogado por decisão de um órgão competente. Caso a aplicação tenha chegado ao fim do seu período de proteção, vinte anos para patente de invenção ou quinze anos para modelo de utilidade, a patente está expirada. Por fim, o *status* caducado ocorre nos casos em que o pedido de patente não tiver taxas de manutenção pagas ou for considerado como retirado (Questel, 2024).

Assim, analisando de uma forma mais detalhada, foi possível entender que das patentes em vigor, 11.125 (86,41%) estão garantidas e 1.750 (13,59%) estão pendentes. Em contrapartida, das patentes inválidas, 9.390 (78,85%) estão caducadas, 653 (5,48%) estão expiradas e 1.865 (15,67%) foram revogadas.

A Figura 31 mostra as parcelas representativas de cada condição em relação ao número total de patentes.

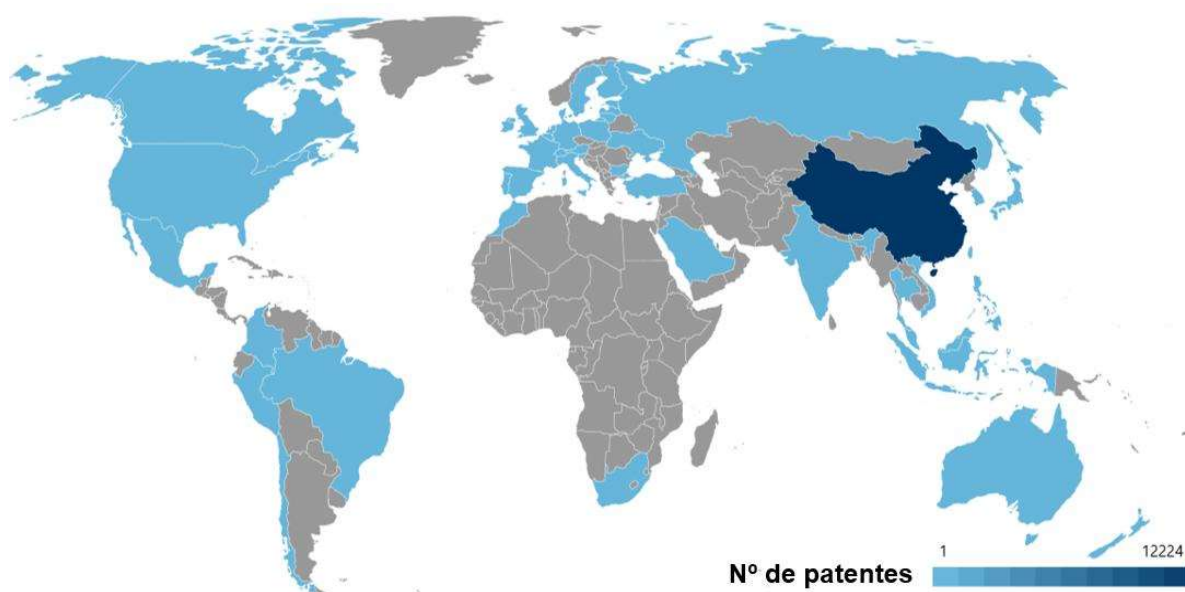
Figura 78 - Patentes por status legal



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Em seguida, para priorizar as patentes que atualmente encontram-se válidas, foi aplicado o filtro de *status* legal, restringindo o escopo de estudo para as 12.875 patentes vivas. Nesse contexto, visando compreender a distribuição no cenário mundial, buscou-se visualizar em quais países essas patentes sobre reúso de água estavam sendo protegidas e, para isso, foi feita uma análise dos vinte países que tiveram mais patentes protegidas em seus territórios. A Figura 32 mostra o panorama de proteção das patentes de acordo com os países.

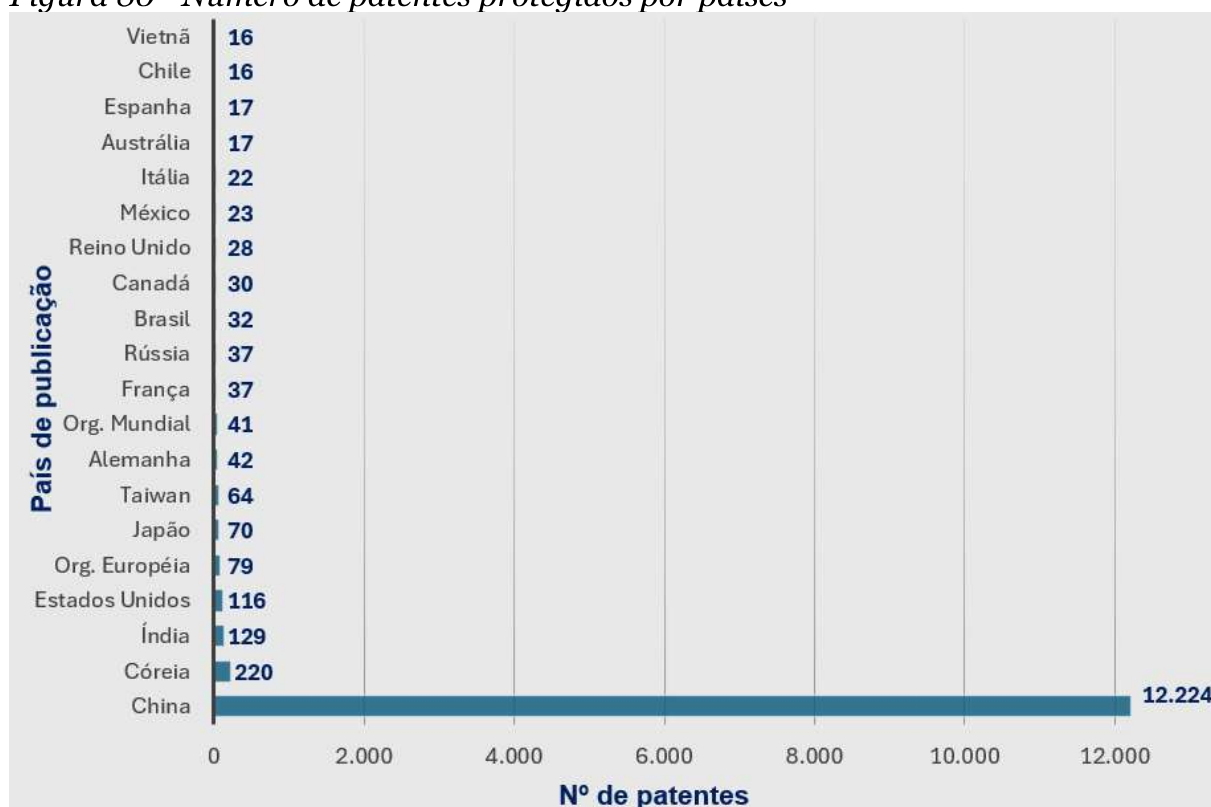
Figura 79 - Distribuição de patentes por países protegidos



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Os três países que se destacaram com mais depósitos foram respectivamente: China, com 12.224 patentes; Coreia, com 220 patentes e a Índia, com 129 patentes. Portanto, diante de tamanha discrepância de valores, é nítida a hegemonia da China no contexto global. O Brasil, por sua vez, ocupa a décima segunda posição com apenas trinta e duas patentes protegidas. A Figura 33 descreve o número de patentes por países protegidos, completando o exposto na Figura 32.

Figura 80 - Número de patentes protegidos por países

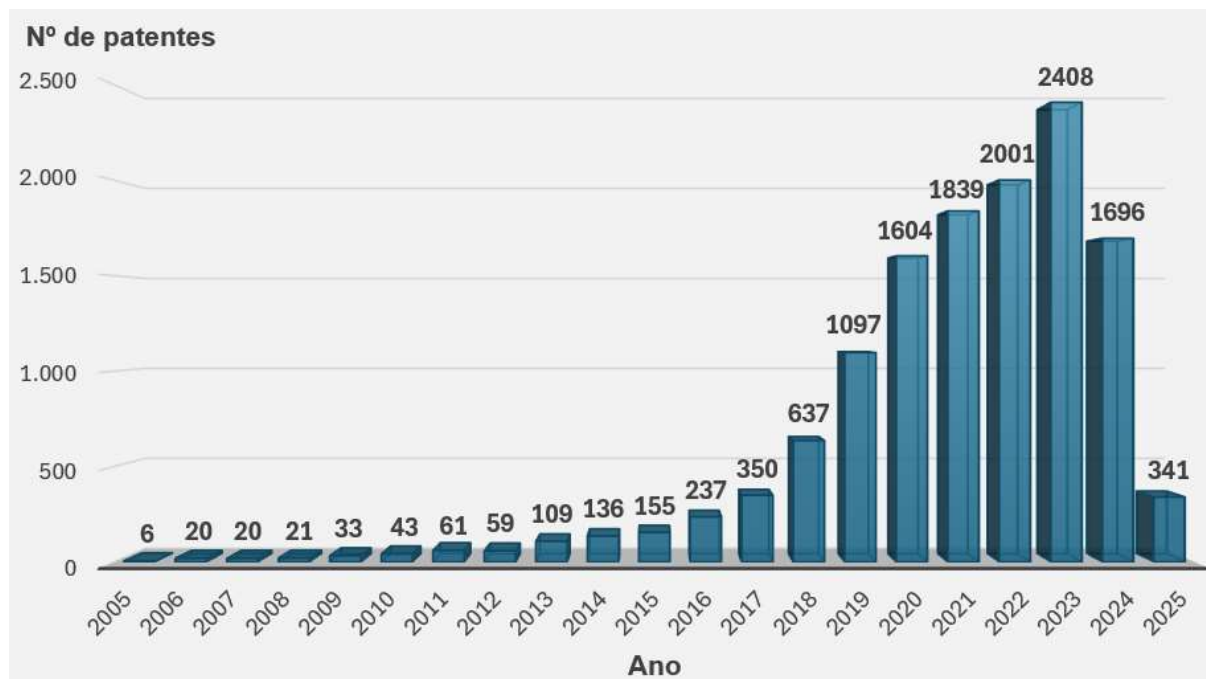


Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel), 2025.

No que se refere à variação temporal, foi analisado o comportamento ao longo dos últimos vinte anos e ficou evidente que o tema ganhou força com o passar do tempo, especialmente ao longo da última década. Foi possível observar que antes do ano de 2006 apenas oito depósitos foram feitos. Entre 2006 e 2010 houve um aumento, totalizando cento e trinta e sete patentes. Seguindo um padrão semelhante de crescimento, de 2011 a 2015 foram registrados quinhentos e vinte depósitos. A situação entre 2016 e 2020, mostrou uma evolução bem maior, totalizando três mil novecentos e vinte e cinco patentes. Finalmente, de 2020 a 2025 foram depositadas oito mil duzentas e oitenta e cinco patentes, mostrando a relevância e atualidade do reúso de água.

A Figura 34 mostra a evolução das patentes no mundo nas duas últimas décadas.

Figura 81 - Evolução no número de patentes por ano



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel), 2025.

De acordo com a evolução histórica das patentes foi observado um aumento expressivo entre os anos de 2019 e 2023. Ao analisar a conjuntura mundial nesse período, esse aumento pode ter relação com o cenário vivenciado de crise sanitária da pandemia do vírus Sars-Cov-2 (Covid-19) e com o desenvolvimento das atividades da agenda 2030. Além disso, foi constatado um declínio expressivo nos anos de 2024 e 2025, fato que sugere um avanço do nível de maturidade tecnológica das patentes já depositadas e, por conseguinte, uma elevação das chances de exploração comercial e ingresso dessas tecnologias no mercado.

Outro tópico importante foi saber quais foram os temas mais frequentemente abordados pelas patentes de reúso de água. Nessa ótica, foi realizada uma triagem através dos códigos da Classificação Internacional de Patentes (IPC, do inglês *International Patent Classification*), selecionando os dez códigos IPC mais citados nas patentes. O Quadro 4 sistematiza a relação dos dez códigos mais citados e o que eles significam.

Quadro 4 - Dez códigos IPC mais citados

10 CÓDIGOS IPC MAIS CITADOS PELAS FAMÍLIAS DE PATENTES			
CÓDIGO IPC	DESCRIÇÃO	Nº CITAÇÕES	%
C02F-001/00	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto.	1.168	16,03%
C02F-001/44	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por diálise, osmose ou osmose reversa.	1.075	14,75%
C02F-009/04	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico.	980	13,45%
C02F-009/14	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento biológico.	929	12,75%
C02F-009/00	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto.	848	11,64%
C02F-001/52	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão.	813	11,16%
C02F-001/28	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por sorção (usando troca iônica C02F 1/42; composições sorventes B01J).	574	7,88%
C02F-009/02	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação.	462	6,34%
B01D-029/03	Filtros com elementos filtrantes estacionários durante a filtração, por exemplo, filtros de pressão ou de sucção, não abrangidos pelos grupos B01D 24/00-B01D 27/00; Elementos filtrantes para os mesmos autoportantes.	236	3,24%
B01D-036/04	Circuitos de filtro ou combinações de filtros com outros dispositivos de separação (dispositivos para remoção de gás, por exemplo, sistemas de purga de ar B01D 35/01; separadores magnéticos ou eletrostáticos combinados com filtros B03C). Combinações de filtros com tanques de decantação.	202	2,76%

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel), 2025.

Os dados sistematizados revelaram que os temas: tratamento de água, águas residuais ou esgoto; tratamento de água, águas residuais ou esgoto por diálise, osmose ou osmose reversa; tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão e tratamento de água, águas residuais ou esgoto por sorção somaram juntos 3.630 citações, correspondendo a 49,82% do total, caracterizando-se como a principal categoria temática das patentes.

Não obstante, os temas: tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento biológico e

tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação totalizaram 3.219 citações, equivalente a 44,18% do total, sendo também uma categoria temática relevante e recorrente.

Em uma menor faixa de representatividade, estão os temas: filtros com elementos filtrantes estacionários durante a filtração, incluindo elementos filtrantes autoportantes e circuitos de filtro ou combinações de filtros com outros dispositivos de separação, com combinações de filtros com tanques de decantação. Esses tiveram apenas 438 citações, que compõem 6,00% do total.

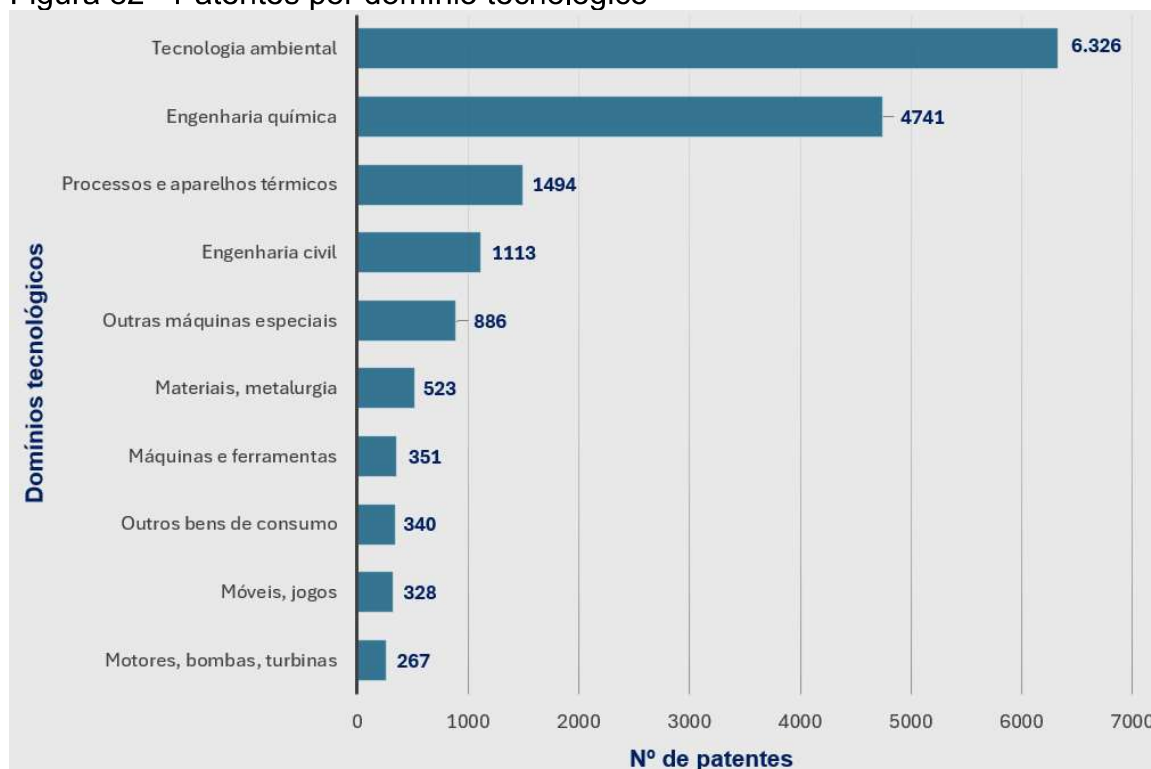
Diante do exposto, compreende-se que o desenvolvimento de tecnologias para o reúso de água está vinculado ao tratamento de água, águas residuais (esgoto) por métodos físicos, químicos e biológicos.

Além disso, foi possível mapear as patentes por domínio tecnológico, selecionando as dez áreas tecnológicas predominantes. A área “Tecnologia ambiental” foi a mais abordada, estando presente em 6.326 patentes. Na sequência, vieram as áreas de “Engenharia química” com 4.741, “Processos e aparelhos térmicos” com 1.494, “Engenharia civil” com 1.113 e “Outras máquinas especiais” com 886.

Em menor expressividade, tem-se os domínios de “Materiais e metalurgia”; “Máquinas e ferramentas”; “Outros bens de consumo” e “Móveis e jogos”, com 523, 351, 340 e 328 patentes, respectivamente. Por último, a área de “Motores, bombas e turbinas” tiveram 267 patentes depositadas.

A Figura 35 retrata as dez áreas tecnológicas que predominaram nas patentes estudadas.

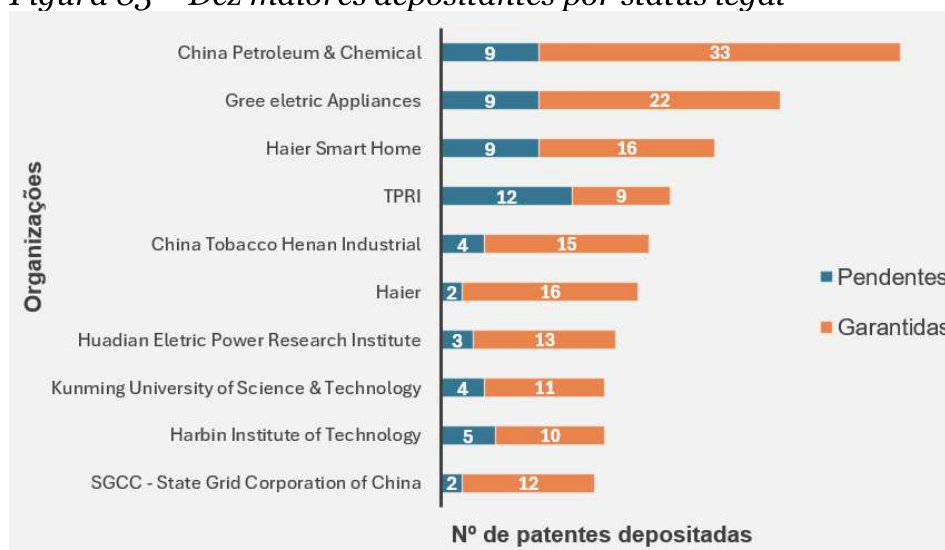
Figura 82 - Patentes por domínio tecnológico



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Outrossim, buscou-se identificar quais foram as organizações que mais depositaram patentes sobre a temática em questão, caracterizando-se potencialmente como detentoras de tecnologias relevantes, que podem ser transferidas através de licenciamentos e cessões ou ainda podem ser disponibilizadas ao entrarem em domínio público. Diante disso, foi feita uma seleção das dez organizações que mais depositaram patentes vivas. A Figura 36 demonstra esse ranking de depositantes.

Figura 83 – Dez maiores depositantes por status legal



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Nesse âmbito, a empresa *China Petroleum & Chemical* liderou o ranking, com trinta e três patentes garantidas e nove pendentes. Em segundo lugar vem a *Gree Electric Appliances*, que depositou vinte e duas patentes garantidas e nove pendentes. Na terceira posição está a *Haier Smart Home*, com dezesseis patentes garantidas e nove patentes pendentes. Em relação às outras sete organizações, o número de patentes depositadas é bem semelhante, variando de nove garantidas e doze pendentes pela empresa *TPRI*, quarta colocada, a doze garantidas e duas pendentes pela empresa *SGCC- State Grid Corporation*, décima colocada.

Ademais, visando identificar patentes que se destacam no cenário estudado, também foi verificado a situação dos documentos em relação aos litígios, oposições e licenciamentos, tendo em vista que são indicadores de qualidade e potencial das tecnologias protegidas, inclusive na perspectiva de concorrentes no mercado. Assim, foi possível identificar um caso de litígio, quarenta e seis de oposições e um de licenciamento.

A situação de litígio aconteceu para a patente intitulada “Método e sistema para descarte de águas residuais de furfural e método e sistema para produção de furfural”, com primeira publicação nos Estados Unidos em sete de junho do ano dois mil e seis sob o registro US8764947. O furfural é um composto orgânico derivado de biomassa, com a fórmula C_4H_3OCHO , obtido pela hidrólise e desidratação de açúcares de cinco carbonos (pentoses) presentes em materiais agrícolas como bagaço de cana-de-açúcar e sabugos de milho, possuindo valor industrial e comercial. O litígio aconteceu com a patente chinesa CN100352776C, “Método e sistema para tratamento de águas residuais da produção de furfural e método e sistema para produção de furfural”, por contestação de autoria de invenção.

Por sua vez, o caso de licenciamento identificado aconteceu para a mesma patente, US8764947. É importante destacar ainda que essas tecnologias protegidas estão próximas a entrarem em domínio público, uma vez que o prazo de vinte anos de validade termina em 2026.

Em relação aos quarenta e seis casos de oposições de patentes, a grande maioria está relacionada a patentes chinesas, de modo que quarenta e uma patentes tiveram oposições. Receberam ainda oposições três patentes coreanas e duas patentes na organização europeia. Esses dados indicam que esses documentos foram contestados por terceiros, sob a justificativa de não ter novidade ou atividade inventiva, ou ainda

que os depositantes envolvidos não são os verdadeiros donos. É mister compreender que as oposições geram procedimentos administrativos, visando a lisura das proteções das tecnologias, podendo a situação se agravar para a esfera judicial.

Quantitativamente, considerando o universo das doze mil oitocentas e setenta e cinco patentes vivas selecionadas, o número de oposições é risível, uma vez que quarentas e seis patentes representam apenas zero vírgula trinta e seis por cento do total. Em contrapartida, evidencia que noventa e nove vírgula sessenta e quatro por cento das patentes, ou seja, a absoluta maioria, apresentam legitimidade confirmada.

O Quadro 5 detalha os casos de oposição de patentes.

Quadro 5 - Casos de oposição de patentes

CONTINUA

CASOS DE OPOSIÇÃO DE PATENTES			
PATENTE	TÍTULO	APLICAÇÃO	PAÍS
CN107199126	<i>Phosphorite flotation wastewater recycling device and process thereof.</i>	20/04/2017	China
CN114540219	<i>Tail vegetable wastewater recycling microbial inoculum and application thereof in preparation of plant ferment.</i>	31/12/2021	China
KR10-0727577	<i>Water recycling toilet sewage treatment system without water discharge.</i>	30/06/2006	Coréia
CN220812218	<i>Groove drum lubricating water recycling device of glass fiber drawing machine.</i>	28/09/2023	China
CN215924588	<i>White water recycling device for papermaking.</i>	02/08/2021	China
CN210030317	<i>Sewage treatment system.</i>	11/04/2019	China
CN103232143	<i>Ecologically combined device for treating ammonia-nitrogen sewage.</i>	28/05/2013	China
CN216964029	<i>Dust purification device for trial production of hot-rolled ribbed steel bars.</i>	29/11/2021	China
CN215161232	<i>Nanofiltration treatment device for wastewater reuse.</i>	31/05/2021	China
CN108298758	<i>Vanadium ore production wastewater recycling device and process thereof.</i>	27/04/2018	China
CN207047124	<i>System with sewage reuse function is by powder coal preparation light aromatics.</i>	03/07/2017	China
CN210973900	<i>Water-saving device for white carbon black production by precipitation method.</i>	29/11/2019	China
CN218672136	<i>UHT sterilization machine steam condensate recycling device.</i>	10/10/2022	China

CN2080725 74	<i>Circulating water system arranges sewage reuse device.</i>	13/04/2018	China
CN1030438 58	<i>Monosidum glutamate industrial wastewater recycling process and device.</i>	21/12/2012	China
CN1018573 31	<i>Coal chemical industry wastewater zero emission treatment method and system.</i>	10/06/2010	China
CN2219176 84	<u><i>Arsenic-containing wastewater recycling system.</i></u>	18/01/2024	China
CN2056763 13	<u><i>Purification treatment system that fountain sewage cycle utilized.</i></u>	22/03/2016	China
CN2199224 43	<u><i>Flue gas desulfurization absorption tower.</i></u>	25/05/2023	China
CN2134491 84	<i>Environmentally friendly ecological roof of sponge city.</i>	01/09/2020	China
KR10- 2284935	<i>ICT-based waterworks water quality management system that enables sample water recycling.</i>	14/12/2020	Coréia
CN11454022 0	<i>Fruit and vegetable wastewater recycling microbial inoculum and application thereof in preparation of plant ferment.</i>	31/12/2021	China
CN2055280 30	<i>Large traffic nothing bucket reverse osmosis water purification machine system.</i>	25/12/2015	China
CN2215223 28	<i>Novel secondary RO filtered wastewater recycling device of water purifier.</i>	31/10/2023	China
CN2052227 61	<i>A ceramic membrane separation device for waste liquid loop filter.</i>	11/12/2015	China
CN2051344 21	<i>Waste water utilizing device in toilet.</i>	26/11/2015	China
CN2151024 96	<i>Limestone sand-making wastewater circulating treatment device.</i>	07/06/2021	China
CN2103404 54	<i>System for treating waste alkali generated by ethylene cracking by acid-base neutralization method.</i>	27/06/2019	China
KR10- 2138139	<i>Device for recycling domestic sewage.</i>	20/02/2020	Coréia
CN2051344 50	<i>Waste water cyclic utilization device between showers.</i>	26/11/2015	China
CN2163207 65	<i>Waste gas purification device for sintering energy optimization.</i>	24/08/2021	China
CN2072945 11	<i>Domestic sewage recycling system.</i>	25/08/2017	China
CN2076083 46	<i>Contain ammonia and carbon dioxide wastewater recycling device.</i>	11/12/2017	China
CN11410873 6	<i>Large-scale pond is with desilting device.</i>	30/11/2021	China

CN1047755 00	<i>Building construction rainwater, wastewater cyclic utilization system.</i>	13/04/2015	China
CN1031721 94	<i>Process for realizing manganese-containing wastewater recycling.</i>	23/12/2011	China
CN11314934 6	<i>Method for recycling semi-coke wastewater.</i>	01/04/2021	China
US10662504	<i>Method for recovering lithium from low-context extraction tailwater and recycling extraction tailwater.</i>	31/10/2016	EUA
CN2177460 89	<i>Sewage recovery device of sewage stripping tower for propylene production process.</i>	29/07/2022	China
CN1029765 42	<i>Wastewater recycling system in superfine fiber leather production.</i>	29/11/2012	China
EP1975297	<i>Condensation clothes dryer with recycling of condensate water to supply a steam generator and associated method.</i>	27/03/2007	Europa
CN2228341 29	<i>Lithium iron phosphate cleaning wastewater recovery treatment system.</i>	28/04/2024	China
CN2143274 23	<i>Wastewater purification clarification tank.</i>	16/08/2021	China
CN1056009 95	<i>High ammonia nitrogen wastewater recycling zero-emission treatment method and device based on membrane aeration and membrane absorption coupling process.</i>	09/03/2016	China
WO2017/03 2318	<i>Self-wastewater-treatment environmental gasifier.</i>	26/08/2015	Global
EP2072470	<i>Method of reutilizing wastewater.</i>	25/07/2007	Europa

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

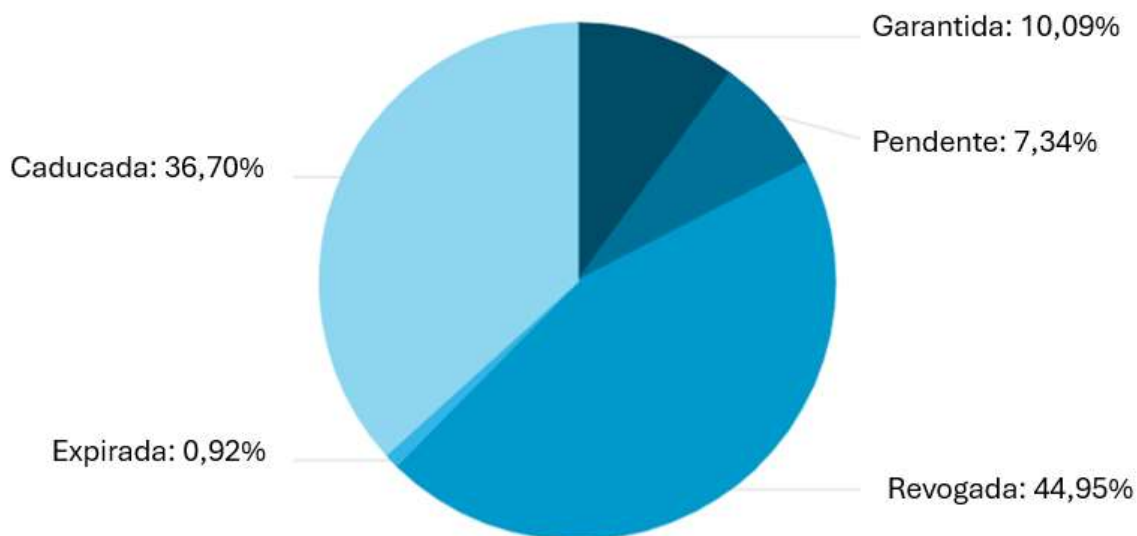
3.3.2 Patentes de reúso de água no Brasil

As análises de famílias de patentes sobre reúso de água no Brasil, foram feitas com base na consulta inicial realizada para o cenário global, ou seja, as vinte e quatro mil setecentas e oitenta e três patentes totais existentes nos últimos vinte anos. Desse contingente, foram filtradas as patentes que foram publicadas no Brasil, retornando um total de cento e quarente e nove documentos, que representa apenas zero vírgula seis por cento do total.

Em seguida, refinou-se esse escopo para as patentes que tiveram o Brasil como o seu primeiro país de publicação e de prioridade, visto que isso evidencia um interesse maior em proteger as tecnologias no nosso território. Esse escopo, mantido para as

etapas seguintes, resultou em cento e nove patentes, das quais dezenove (17,43%) encontram-se no estado de vivas e noventa (82,57%) estão no estado de mortas. Essa distribuição percentual difere consideravelmente do cenário mundial apresentado anteriormente, visto que no Brasil a minoria das patentes está viva. A Figura 37 mostra a distribuição percentual dessas patentes por *status* legal.

Figura 84 - Distribuição por status legal



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Do escopo das cento e nove patentes selecionadas, dezenove estão vivas, ou seja, garantidas ou pendentes. Desse total, doze patentes são de antes do ano de 2021 e sete patentes foram aplicadas nos últimos cinco anos (2021 a 2025) distribuindo-se da seguinte maneira: duas em 2021, duas em 2022, uma em 2023, duas em 2024 e nenhuma em 2025.

O Quadro 6 esquematiza as dezenoves patentes com *status* legal de vivas.

Quadro 6 - Patentes com status legal de vivas.

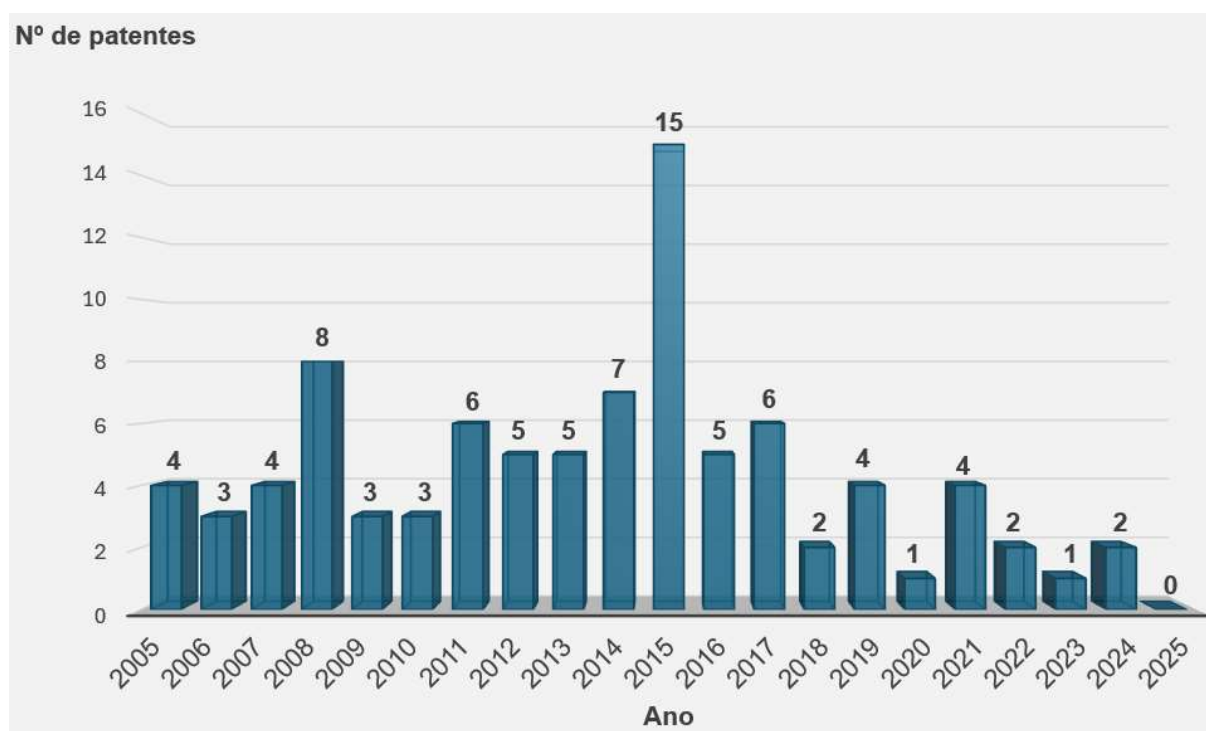
PATENTES VIVAS NO BRASIL			
PUBLICAÇÃO	TÍTULO	APLICAÇÃO	STATUS
BR102021005885	Sistema de reaproveitamento de água de chuveiro em caixa de descarga acoplada.	26/03/2021	Garantida
BR102022012838	Sistema de reaproveitamento de água evaporada em processos em torres de refrigeração.	27/06/2022	Garantida
BRPI0802871	Equipamento e processo de reciclagem de água por floculação-flotação avançada e aparato de flotação.	01/07/2008	Garantida
BR102023016586	Sistema de reciclagem de água.	17/08/2023	Pendente
BR102014032306	Destilador de água compacto com eficiência máxima de reutilização de água.	22/12/2024	Garantida
BR102022012852	Dispositivo de reaproveitamento de água.	28/06/2022	Garantida
BRPI0823671	Método de reaproveitamento de água em lavadoras de roupas.	25/07/2008	Garantida
BR202021023125	Disposição construtiva para reaproveitamento hídrico contínuo em usinas hidrelétricas.	17/11/2021	Pendente
BR202019025628	Sistema de reutilização de água de reuso por meio de ultra filtração.	04/12/2019	Pendente
BR102015011701	Equipamento e processo para tratamento de resíduos sólidos.	21/05/2015	Garantida
BRPI0904561	Equipamento lavador de frutas com processo de reuso da água de lavagem.	19/11/2009	Garantida
WO2015/017907	Sistema de aplicação de produtos oxirredutores sob pressão, para tratamento de efluentes líquidos complexos, com finalidade de reuso da água.	08/08/2013	Garantida
BR102024002885	Processo de captura do vapor com reaproveitamento energético e reuso da água condensada.	15/02/2024	Pendente
BR202020011209	Kit para aproveitamento de água para reuso em caixas acopladas.	04/06/2020	Pendente
BR102019008118	Sistema de tratamento de efluente para viabilização da recirculação e/ou reuso de água.	22/04/2019	Pendente
BR102016002528	Processo de controle de lavadora de garrafas.	04/02/2016	Garantida
BR102024003133	Equipamento mecânico de viração de tripa bovina e processo de viração com aproveitamento de mucosa e reúso de água.	19/02/2024	Pendente
BR102014008516	Sistema integrado de recuperação de água limpa e de energia térmica de encanamentos de água aquecida.	09/04/2014	Garantida
US20080173582	Processo e aparelho para reutilização de efluentes líquidos gerados no processo de acabamento, lavagem, tingimento e estamparia têxtil.	22/01/2007	Pendente

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Para melhor compreensão da evolução temporal dos depósitos, foi analisado o comportamento ao longo dos últimos vinte anos, evidenciando que, apesar da importância do tema, houve um declínio expressivo, especialmente ao longo da última década. Foi possível observar que, antes do ano de 2006, oito depósitos foram feitos. Entre 2006 e 2010 houve um leve aumento, totalizando vinte e uma patentes no período. O período compreendido entre os anos 2011 e 2015 registraram as maiores quantidades, com trinta e oito depósitos. A situação entre 2016 e 2020, mostrou uma redução considerável, considerando o depósito de dezoito patentes.

Finalmente, de 2020 a 2025 foram depositadas apenas nove patentes, sendo uma em 2020, quatro em 2021, duas em 2022, uma em 2023, duas em 2024 e nenhuma em 2025, demonstrando pouco avanço da temática reúso de água no período recente no país. A Figura 38 mostra a evolução dessas patentes no Brasil nas duas últimas décadas.

Figura 85 - Evolução das patentes por ano.



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Curiosamente, existiu um ápice de patentes no ano de 2015, que destoava bastante dos outros anos. Além do mais, diferentemente do panorama observado no cenário mundial, não houve um aumento considerável de patentes na época da pandemia da Covid-19.

Outro aspecto importante foi saber quais foram os temas mais frequentemente abordados pelas patentes de reúso de água no contexto brasileiro. Nesse cerne, foi realizada uma triagem através dos códigos IPC, selecionando os mais citados nas patentes, conforme explicado no Quadro 7.

Quadro 7 - Códigos IPC mais citados pelas patentes.

CÓDIGOS IPC MAIS CITADOS PELAS FAMÍLIAS DE PATENTES			
CÓDIGO IPC	DESCRIÇÃO	Nº CITAÇÕES	%
C02F-009/02	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação.	38	20,00%
C02F-009/00	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto.	38	20,00%
C02F-009/04	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico.	37	19,47%
C02F-001/00	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto.	36	18,95%
C02F-009/08	Tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo processo físico.	27	14,21%
C02F-001/52	Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão.	11	5,79%
E03C-001/12	Instalações hidráulicas para águas residuais domésticas; Bacias ou fontes a elas ligadas.	2	1,05%
E03B-001/04	Métodos ou layout de instalações para abastecimento de água para abastecimento doméstico ou local similar.	1	0,53%

Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

As informações sintetizadas revelaram que os temas: tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto envolvendo uma etapa de separação; tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo um tratamento químico; tratamento de água, águas residuais ou esgoto e tratamento multietapas de água, águas residuais ou esgoto com pelo menos uma etapa sendo processo físico responderam juntos por noventa e dois vírgula sessenta e três por cento do total, com cento e setenta e seis citações. Destaca-se ainda um equilíbrio entre a recorrência desses cinco eixos temáticos.

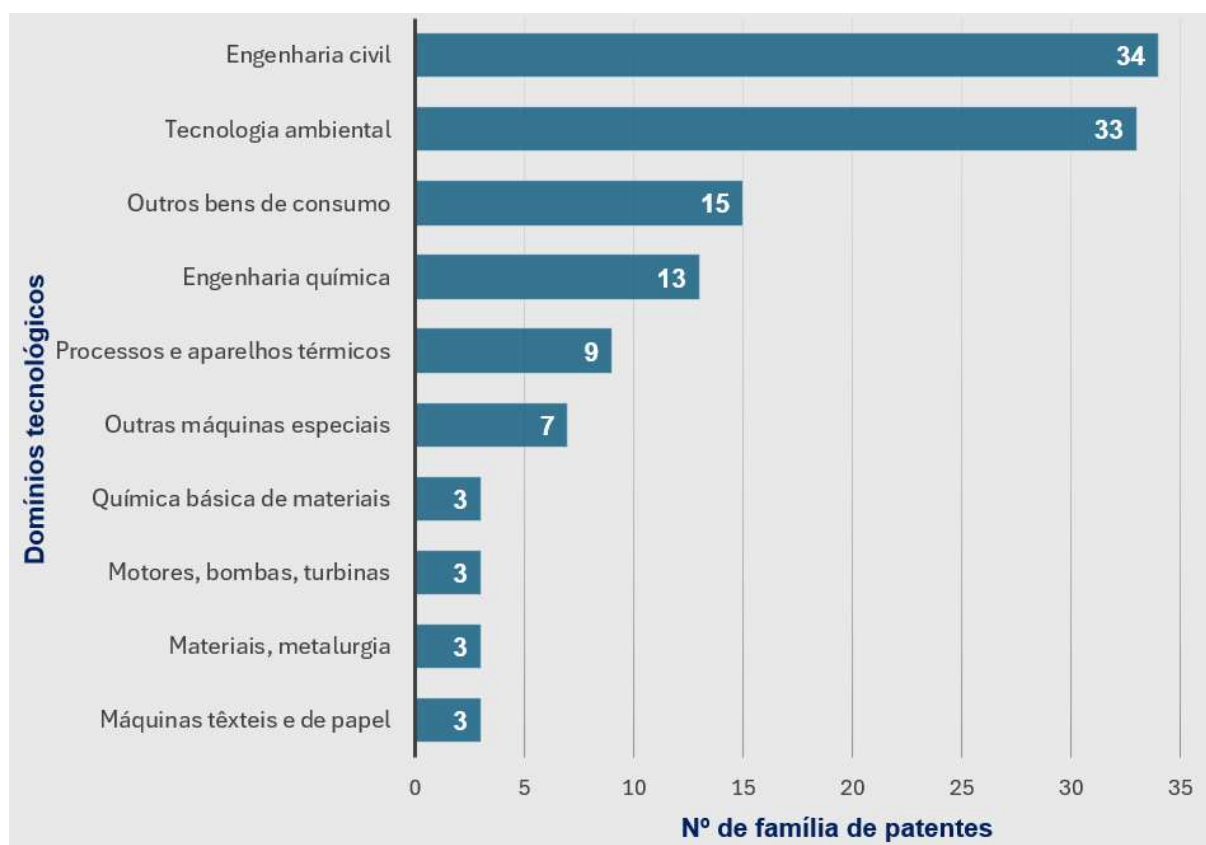
Outrossim, com menor frequência, o tema “Tratamento de água, águas residuais ou esgoto por floculação ou precipitação de impurezas em suspensão” teve onze citações (5,79%), o tema “Instalações hidráulicas para águas residuais domésticas/

Bacias ou fontes a elas ligadas” foi citado duas vezes (1,05%) e por último o tópico “Métodos ou layout de instalações para abastecimento de água para abastecimento doméstico ou local similar” teve apenas uma citação (0,53%).

Oportunamente, as patentes foram separadas por domínio tecnológico, selecionando as dez áreas tecnológicas predominantes. As áreas “Engenharia Civil” e “Tecnologia Ambiental” destacaram-se como a maioria, estando presentes em trinta e quatro e trinta e três patentes, respectivamente. Na sequência, vieram as áreas de “Outros bens de consumo” com quinze, “Engenharia química” com treze, “Processos e aparelhos térmicos” com nove e “Outras máquinas especiais” com sete.

Em menor representatividade, estão os domínios “Química básica de materiais”, “Motores, bombas e turbinas”, “Materiais, metalurgia” e “Máquinas têxteis e de papel” com três patentes cada um. A Figura 39 retrata as dez áreas tecnológicas que predominaram nas patentes estudadas.

Figura 86 - Patentes por áreas tecnológicas

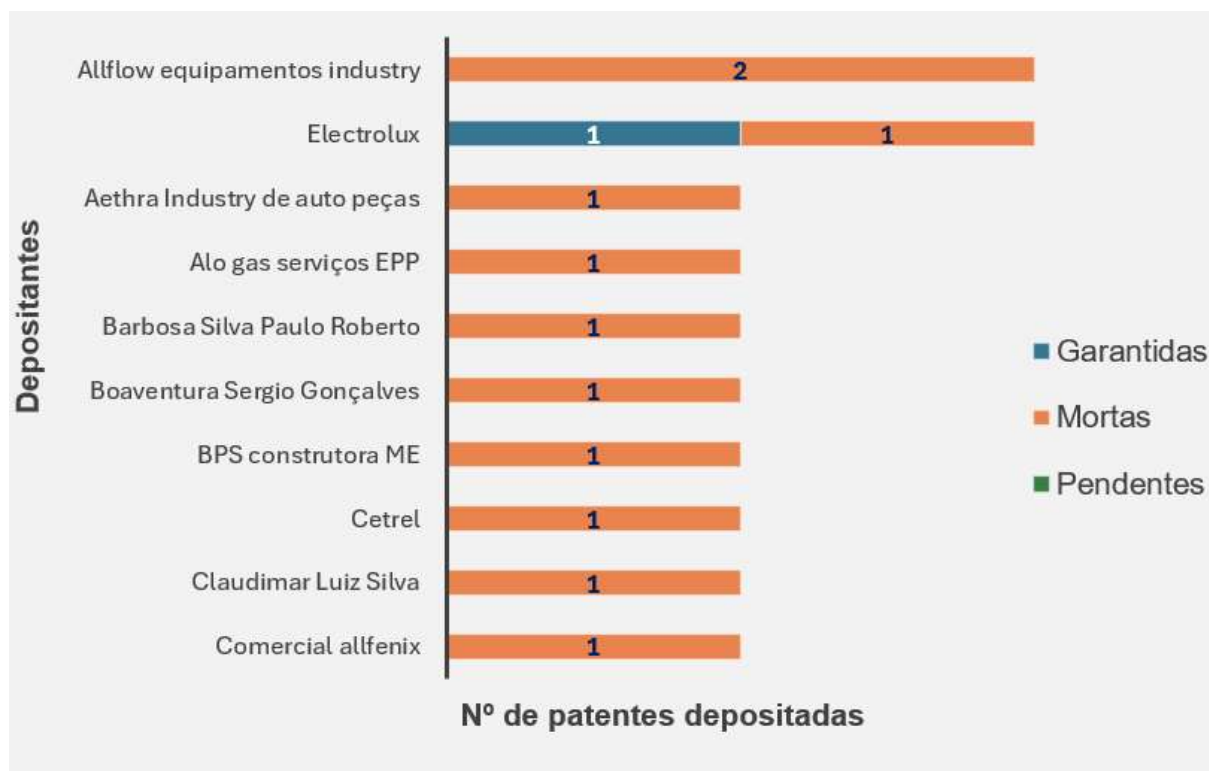


Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

Ademais, buscou-se identificar quais foram os depositantes, pessoa física ou jurídica, mais atuantes nas patentes em questão, caracterizando-se potencialmente

como detentores de tecnologias relevantes, que podem ser transferidas através de licenciamentos e cessões ou ainda podem ser disponibilizadas ao entrarem em domínio público. Diante disso, foi feito um ranking dos dez maiores depositantes, conforme descrito na Figura 40.

Figura 87 - Dez maiores depositantes por status legal



Fonte: Autoria própria (adaptado de Questel, 2025).

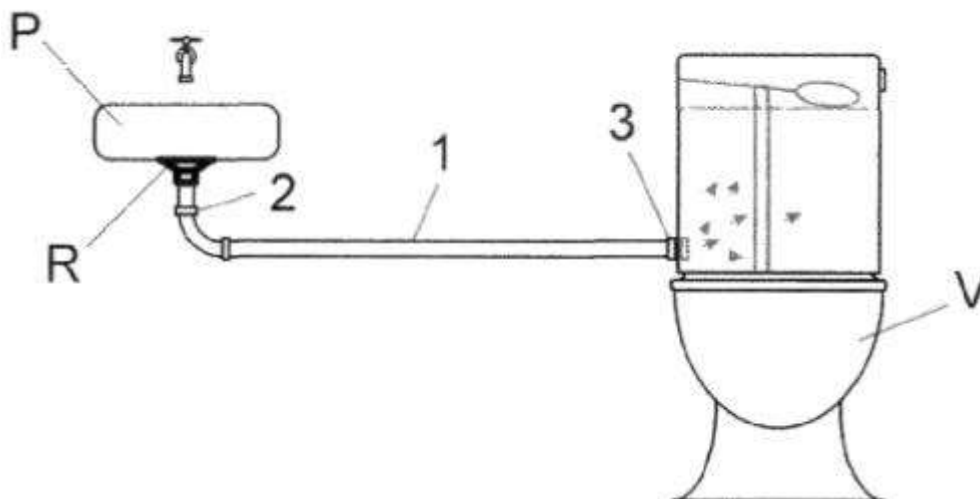
A situação observada indica um grande equilíbrio entre os depositantes, não havendo nenhum destaque específico, seja por pessoa física seja por pessoa jurídica. Além do mais, é possível constatar uma quantidade muito baixa de depósitos, evidenciando uma conjuntura de abertura e demanda tecnológica na área de reúso de água.

Adicionalmente, também foi verificado a situação dos documentos em relação aos litígios, oposições e licenciamentos, tendo em vista que são indicadores de qualidade e potencial das tecnologias protegidas, inclusive no eixo mercadológico. Constatou-se que não existiu nenhum caso de litígio e nenhum licenciamento.

Contudo, foi registrado um caso de oposição para a patente brasileira BR 102015010300, cujo título é “Sistema de reúso de água, para descarga no vaso sanitário”, inventada e depositada por Claudio Antonio Negosseque, relativa ao código IPC E03C-001/12. Trata-se de uma patente de modelo de utilidade que propõe um

sistema simples e direto de ligação da pia do lavabo ou do banheiro (P) à caixa acoplada de descarga no vaso sanitário (V), com reutilização da água da torneira da pia do lavabo que desce pelo ralo (R) do mesmo para a descarga no vaso sanitário, através de uma mangueira flexível (1) e conexões correlatas (2 e 3). A Figura 41 ilustra o esquema proposto reivindicado por essa patente.

Figura 88 - Sistema de reuso de água, para descarga no vaso sanitário



Fonte: Patente BR102015010300 (Negosseque, 2015).

É pertinente salientar ainda que essa patente foi registrada dia seis de maio de dois mil e quinze e está expirada desde doze de abril de dois mil e vinte e dois. Desse modo, sua tecnologia encontra-se livre para exploração e disponível para as partes interessadas em ofertá-la no mercado.

4. REÚSO DE ÁGUA NA MATRIZ EMPRESARIAL

4.1 EMPRESAS E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A empresa desempenha um papel fundamental nas economias modernas, sendo caracterizada como uma atividade econômica organizada, voltada para a produção ou circulação de bens e serviços. Dessa forma, a empresa vai além de um simples estabelecimento comercial ou uma entidade física. Ela contempla um conjunto de fatores produtivos organizados de maneira eficiente, coordenados de modo a gerar lucro e atender as necessidades do mercado (Carris, 2024).

É importante salientar ainda que uma questão fundamental na literatura é a terminologia utilizada para a categoria de empresas que não se enquadram no âmbito das grandes corporações. Alguns as denominam pequenas empresas, enquanto outros utilizam o conceito de pequenas e médias empresas, enquanto outros ainda as chamam de micro, pequenas e médias empresas (Berisha; Pula, 2015).

Ademais, as diferenças na definição dessas empresas se estendem por três frentes: definições de instituições internacionais, definições de leis nacionais e definições setoriais. Encontrar um padrão universal representa um desafio crítico para institucionalistas, economistas, acadêmicos e industriais. Embora seja um dilema, menos relevante é a distinção entre "empresa" e "negócio", conquanto os autores costumem usar os termos de forma intercambiável (Berisha; Pula, 2015).

No que se refere ao porte de uma empresa, é fundamentado em parâmetros como número de funcionários e faturamento, de forma que os portes principais são (Richardson, 2025):

- Microempreendedor Individual (MEI).
- Microempresa (ME).
- Empresa de Pequeno Porte (EPP).
- Média empresa.
- Grande empresa.

Em relação ao número de funcionários, conforme dispõe o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as empresas dividem-se em: micro quando possui até nove (comércio e serviços) ou até 19 (indústria); pequena se possui entre dez e 49

(comércio e serviços) ou de 20 a 99 colaboradores (indústria); média quando possui entre 50 e 99 (comércio e serviços) ou de cem a 499 (indústria) e grande caso tenham mais de cem (comércio e serviços) ou mais de 500 (indústria) (IBGE, 2025).

Além disso, em relação ao faturamento anual, a classificação mais aceita é da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019), conforme exposto a seguir:

- Grupo I - Empresa de Grande Porte: superior a R\$50 milhões.
- Grupo II - Empresa de Grande Porte: igual ou inferior a R\$50 milhões e superior a R\$20 milhões.
- Grupo III – Empresa de Médio Porte: igual ou inferior a R\$20 milhões e superior a R\$6 milhões.
- Empresa de Pequeno Porte (EPP): igual ou inferior a R\$4,8 milhões e superior a R\$360 mil.
- Microempresa: igual ou inferior a R\$360 mil.

É importante frisar que a relação entre as pequenas e médias empresas e o crescimento da economia evidencia a necessidade de analisar mais a fundo essa relação. Devido à sua importância para a economia em geral, é fundamental compreender como o crescimento das pequenas e médias empresas é fomentado e como pode ser impulsionado (Garcia-Martinez *et al.*, 2023). Contudo, os outros portes empresariais não devem ser preteridos, visto que são importantes e complementares na conjuntura econômica.

No âmbito das empresas e indústrias, o reúso de água compreende a implementação de processos que permitem a reutilização de efluentes tratados — para fins não potáveis como sistemas de resfriamento, lavagem, processos industriais e irrigação técnica — para reduzir o consumo de água virgem e os custos operacionais de longos prazos (Angelakis *et al.*, 2018). Diretrizes técnicas, como o documento de referência da agência de proteção ambiental (EPA, do inglês *environmental protection agency*) sobre reúso, e revisões científicas recentes oferecem bases para avaliação de qualidade, riscos sanitários e requisitos de tratamento necessários para diferentes aplicações industriais (EPA, 2012). Além dos benefícios ambientais e de segurança hídrica, são evidentes os ganhos em eficiência operacional quando o reúso é integrado ao desenho dos processos industriais (Fico *et al.*, 2022; Safarpour *et al.*, 2025).

No contexto brasileiro, iniciativas e manuais técnicos têm tratado o reúso com ênfase nas particularidades locais — disponibilidade hídrica regional, regimes

regulatórios e tipologia industrial. Publicações de órgãos nacionais e manuais setoriais (ex.: manuais da ANA e materiais de apoio para agroindústria e setores específicos) apontam procedimentos de caracterização de efluentes, vias tecnológicas de tratamento e recomendações para aplicação segura do reúso, enfatizando a necessidade de adaptação às realidades regionais e aos arranjos institucionais brasileiros (ANA, 2009; 2019). Esses documentos servem como referência prática para empresas e gestores que buscam implantar sistemas de reúso no país (SEBRAE, 2015).

Apesar das vantagens, a adoção do reúso em empresas e indústrias enfrenta barreiras notáveis: os custos iniciais de implantação de unidades de tratamento avançado, requisitos de monitoramento contínuo, a necessidade de capacitação técnica e incertezas regulatórias podem desincentivar investimentos, sobretudo em pequenas e médias empresas. Revisões críticas recentes também apontam desafios relacionados à presença de contaminantes emergentes, subprodutos do tratamento e à garantia de qualidade em usos sensíveis, fatores que elevam custos operacionais e reforçam a necessidade de avaliação econômica robusta antes da implementação. Assim, a tomada de decisão empresarial tende a ponderar os benefícios ambientais e de redução de captação contra o investimento e despesas associadas à tecnologia e gestão (Klan et al, 2024).

Outro aspecto indiscutível é que superar as barreiras econômicas e técnicas exige políticas públicas claras (incentivos, normas e suporte técnico), avaliação de custo-benefício adaptada ao contexto setorial e mecanismos de compartilhamento de risco e conhecimento entre poder público, empresas e centros de pesquisa (EPA, 2012). Programas de estímulo, estudos de caso bem documentados e normas técnicas aplicáveis ao país podem reduzir a incerteza e acelerar a difusão de práticas de reúso nas indústrias, contribuindo para uma gestão hídrica mais resiliente e sustentável. Investimentos em inovação tecnológica e arranjos institucionais adequados são, portanto, caminhos recomendados para ampliar a adoção do reúso industrial (Fico *et al.*, 2022; Safarpour *et al.*, 2025).

Apesar das dificuldades existentes, existem casos de sucesso de reúso de água no Ceará, inclusive com grande impacto socioeconômico e ambiental a nível local e estadual. No Complexo do Pecém (Ceará) existem dois sistemas funcionando: um que abastece o Porto do Pecém, e o outro a Zona de Processamento de Exportação do Ceará – ZPE Ceará, localizada à 6 km do porto cearense. Os dois juntos proporcionam uma

economia de até 856 mil litros de água por mês. Por dia, cerca de 30 mil litros de água são tratados e utilizados nos vasos sanitários do prédio de Bloco de Utilidades e Serviços e nas oficinas da empresa (ZPE/CE, 2020).

Outro caso de reúso é no Hub do Hidrogênio Verde do Ceará, que está sendo desenvolvido no Complexo Industrial Portuário do Pecém e utilizará água de reúso proveniente dos esgotos tratados das cidades de Fortaleza, Caucaia e Maracanaú. O abastecimento será feito pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) em parceria com a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) e o funcionamento do sistema conta também com a colaboração de empresas privadas (Casarim, 2022).

Adicionalmente, outro exemplo acontece no município de Quixeramobim no Ceará, onde estão em construção sistemas de reúso de água e fossa ecológica para a zona rural, com investimento total de R\$ 3.068.815,81. Esse projeto contempla a construção de sistemas integrados de reúso de águas domiciliares (provenientes de banho, pias e lavanderia) e fossas ecológicas (que tratam efluentes de vasos sanitários), para promover o tratamento e reaproveitamento da água (DAS/CE, 2025).

4.2 MAPEAMENTO DE EMPRESAS

No que se refere à obtenção dos dados no âmbito empresarial, foi realizada uma busca estratégica de informações sobre as empresas legalmente registradas que atuam com atividades relacionadas ao reúso de água no Brasil e no Ceará, considerando a base de dados empresariais do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), a DataSebrae Painéis, em sua versão mais atual, durante os meses de setembro e novembro de 2025.

A escolha dessa base se justifica por ser uma das principais e mais completas base de dados empresariais do Brasil, de acesso gratuito, cujas informações são confiáveis e atuais, uma vez que são obtidas da Receita Federal do Brasil (RCF) e do IBGE.

Não obstante, o objetivo da pesquisa foi coletar e analisar as informações sobre esse escopo de empresas, mapeando-as de acordo com a localização, porte, setor e subárea de atuação. Para tanto, o procedimento foi dividido em duas etapas conexas:

Etapa 1: corresponde ao estudo da Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE), do IBGE, em sua versão mais atual. Após o estudo, procedeu-se com a seleção das atividades econômicas relacionadas ao setor de reúso de água, que delimitam o escopo de prospecção das informações na matriz empresarial.

Etapa 2: após o cumprimento da primeira etapa, os códigos CNAE selecionados foram utilizados como filtros na DataSebrae Painéis (SEBRAE, 2025), visando a consecução de resultados fidedignos sobre a matriz empresarial com atuação relacionada ao reúso de água no país.

4.3 PANORAMA EMPRESARIAL

A apreciação dos itens da Classificação Nacional das Atividades Econômicas - CNAE (IBGE, 2022) resultou na seleção de sete subclasses capazes de caracterizar o desenvolvimento das atividades de reúso de água pelas empresas no Brasil: “atividades relacionadas a esgoto, exceto a gestão de redes”, “captação, tratamento e distribuição de água”, “construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, exceto obras de irrigação”, “atividades técnicas relacionadas à engenharia e arquitetura não especificadas anteriormente”, “fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios”, “testes e análises técnicas” e “gestão de redes de esgoto”.

É importante ressaltar que foram contempladas nessa seleção tanto empresas públicas quanto as privadas. Além disso, conforme o padrão da plataforma de dados DataSebrae painéis (SEBRAE, 2025), os dados foram organizados por estabelecimentos, que contemplam as matrizes e as respectivas filiais de cada empresa.

A partir da seleção estratégica dessas subclasses, os dados foram trabalhados inicialmente em um cenário nacional e posteriormente em uma abordagem mais específica para o contexto do estado do Ceará.

4.3.1 Panorama Nacional

As pesquisas realizadas utilizaram as sete subclasses de categoria CNAE selecionadas como filtro na plataforma DataSebrae Painéis (SEBRAE, 2025) e

retornaram um total de vinte e duas mil duzentas e oitenta e uma empresas no Brasil, segundo a última data de atualização do dia 25 de outubro de 2025. Os dados foram organizados por estabelecimentos, que contemplam as matrizes e suas respectivas filiais. O Quadro 8 descreve a distribuição das empresas de acordo com subclasse CNAE relacionada.

Quadro 8 - Empresas segundo as atividades CNAE selecionadas no Brasil

DISTRIBUIÇÃO DA MATRIZ EMPRESARIAL NO BRASIL POR CLASSIFICAÇÃO CNAE			
CÓDIGO CNAE	DESCRIÇÃO	EMPRESAS	%
37.02-9	Atividades relacionadas a esgoto, exceto a gestão de redes.	4.873	21,87%
71.19-7/99	Atividades técnicas relacionadas à engenharia e arquitetura não especificadas anteriormente.	4.167	18,70%
36.00-6/01	Captação, tratamento e distribuição de água.	2.568	11,53%
42.22-7/01	Construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, exceto obras de irrigação.	3.414	15,32%
28.25-9/00	Fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios.	494	2,22%
37.01-1	Gestão de redes de esgoto.	558	2,50%
71.20-1/00	Testes e análises técnicas.	6.207	27,86%
TOTAL DE EMPRESAS		22.281	

Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Ficou evidente uma predominância das empresas, quase metade do total, com atuação relacionadas ao esgoto e aos testes e análises técnicas. Tal situação confirma um padrão pressuposto, visto que a maioria das práticas de reúso aplica-se ao condicionamento das águas residuárias, que exige também um monitoramento dos parâmetros de qualidade da água.

Outro aspecto relevante identificado foi a discrepância de existência de empresas com atividades relacionadas ao reúso de água entre as diferentes regiões do país, explicitada pela Figura 42.

Figura 89 - Total de empresas por região do país

Empresas



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

A região Sudeste, com doze mil e seis unidades, responde por cinquenta e três vírgula oitenta e oito por cento das empresas. A região Nordeste, por sua vez, apresenta uma redução relevante, respondendo por quatorze vírgula treze por cento das empresas, com três mil cento e quarenta e nove registros. A desigualdade de distribuição regional atinge seu ápice ao analisarmos a região Norte, que possuindo apenas mil e trinta unidades, representa quatro vírgula sessenta e dois por cento do total do país. Essa realidade constatada acompanha a distribuição de desenvolvimento socioeconômico do país.

Em relação ao setor de atuação, o total de empresas se distribui nos setores de serviços, construção civil e indústria. O setor de serviços apresentou o maior número de empresas, com quinze mil oitocentos e cinco registros, representando setenta vírgula noventa e três por cento do total.

Na sequência, o setor de construção civil contemplou três mil quatrocentas e quatorze unidades, o que corresponde a quinze vírgula trinta e dois por cento. Finalmente, o setor da indústria apresentou três mil e sessenta e duas unidades, correspondendo a apenas treze vírgula setenta e quatro por cento do total. A Figura 43 ilustra a distribuição das empresas por setor de atuação.

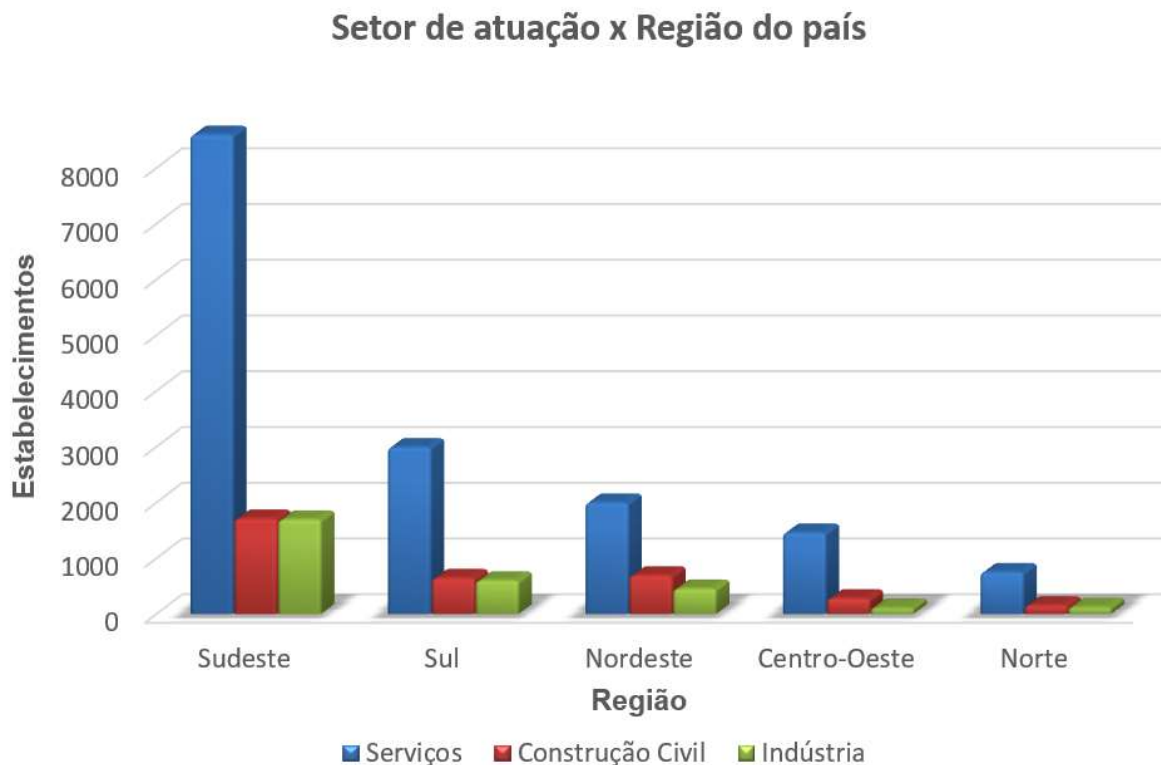
Figura 90 - Empresas por setor de atuação no Brasil



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Adicionalmente, os resultados da pesquisa permitiram o entendimento da situação da matriz empresarial de acordo com o setor de atuação para cada região do país, conforme abordado na Figura 44.

Figura 91 - Empresas de acordo com setor de atuação por região do Brasil



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Foi possível identificar uma predominância de empresas que atuam com serviços, fato esperado pela natureza prestativa dos serviços de saneamento básico e ambiental, que contemplam o reúso de água, aos cidadãos. Esse padrão sugere também uma relação com a demanda de água por setor. Paralelamente, os números obtidos são consideravelmente menores para o setor de Construção Civil e Indústria, fato que indica um potencial maior para investimento em empreendedorismo e inovação nesses setores de atuação. Sob a ótica regional, destacam-se as regiões Centro-Oeste, Norte e Sul com menores quantidades de empresas.

Além disso, o resultado da pesquisa elucida o panorama empresarial de acordo com o porte dessas 22.281 empresas totais, das quais 10.726 são do tipo Microempresa (ME), 2.124 são do tipo Microempreendedor Individual (MEI), 3.233 são Empresas de Pequeno Porte (EPP) e 6.198 são médias e grandes empresas incluindo as que não declaram seu porte no momento da abertura.

É plausível observar ainda que esse arranjo mostra que as EPP, médias e grandes empresas, bem como as não declarantes de seu porte, representam apenas cerca de quarenta e dois por cento do total. Nessa perspectiva, essas empresas, que geralmente possuem uma maior capacidade de impactar os beneficiários através dos seus produtos e serviços em decorrência de seu porte, estão com uma representatividade tímida no cenário nacional. Em contrapartida, se as microempresas e os microempreendedores individuais implementarem práticas de reúso de água, ainda que dentro das suas limitações, os benefícios socioeconômicos e ambientais podem ser maximizados.

4.3.2 Panorama no Ceará

Os estudos feitos para o cenário do Ceará utilizaram as sete subclasses de categoria CNAE selecionadas e a delimitação do local para Ceará como filtros na plataforma DataSebrae Painéis (SEBRAE, 2025). Com isso, foi identificado um total de 574 empresas no estado do Ceará. De forma análoga ao cenário brasileiro, os dados foram organizados por estabelecimentos, que contemplam as matrizes e suas respectivas filiais. O Quadro 9 descreve a distribuição das empresas de acordo com subclasse CNAE relacionada no Ceará.

Quadro 9 - Empresas segundo as atividades CNAE selecionadas no Ceará

DISTRIBUIÇÃO DA MATRIZ EMPRESARIAL NO CEARÁ POR CLASSIFICAÇÃO CNAE			
CÓDIGO CNAE	DESCRIÇÃO	EMPRESAS	%
37.02-9	Atividades relacionadas a esgoto, exceto a gestão de redes.	137	23,87%
71.19-7/99	Atividades técnicas relacionadas à engenharia e arquitetura não especificadas anteriormente.	84	14,63%
36.00-6/01	Captação, tratamento e distribuição de água.	45	7,84%
42.22-7/01	Construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, exceto obras de irrigação.	149	25,96%
28.25-9/00	Fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios.	16	2,79%
37.01-1	Gestão de redes de esgoto.	23	4,01%
71.20-1/00	Testes e análises técnicas.	120	20,91%
TOTAL DE EMPRESAS		574	

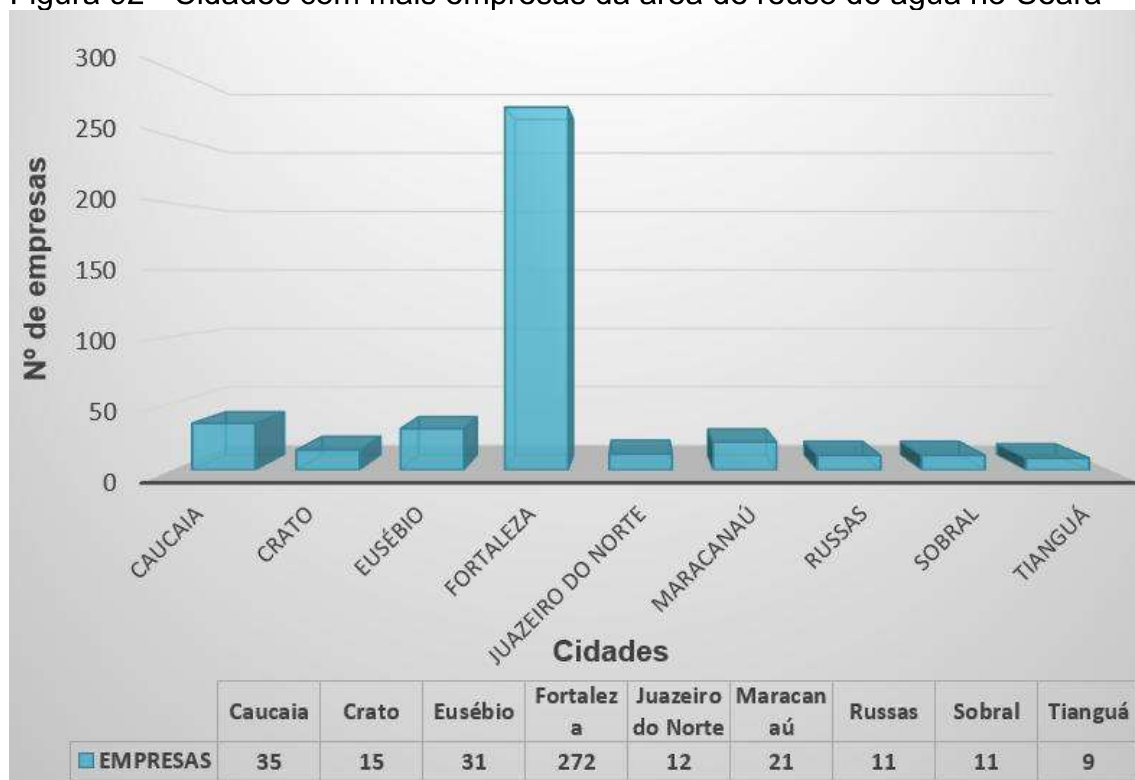
Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Nesse aspecto, notou-se uma diferença em relação ao panorama nacional. Isso porque a maior parte das empresas (25,96%) estão vinculadas à construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas. Em seguida, as empresas com atuação relacionadas ao esgoto e aos testes e análises técnicas correspondem à quase quarenta e cinco por cento do total.

Ainda nesse sentido, foi observada uma concentração da grande maioria das empresas na capital do estado e em cidades maiores com área de influência considerável. Essa situação denota uma concentração de empresas nessas áreas específicas, visto que quatrocentas e dezessete empresas (72,65%) estão concentradas em apenas nove cidades do estado.

A cidade de Fortaleza, capital do estado, lidera de forma destoante possuindo duzentos e setenta e duas empresas do ramo. Na sequência, as cidades de Caucaia, Eusébio e Maracanaú, que ficam localizadas nas proximidades de Fortaleza, possuem trinta e cinco; trinta e um; e vinte e um estabelecimentos, respectivamente. Outras cidades polo do estado, em regiões mais afastadas da capital, tiveram números de empresas bem similares: quinze no Crato, doze em Juazeiro do Norte, onze em Russas, onze em Sobral e nove em Tianguá. A Figura 45 ilustra essa situação das cidades com mais empresas.

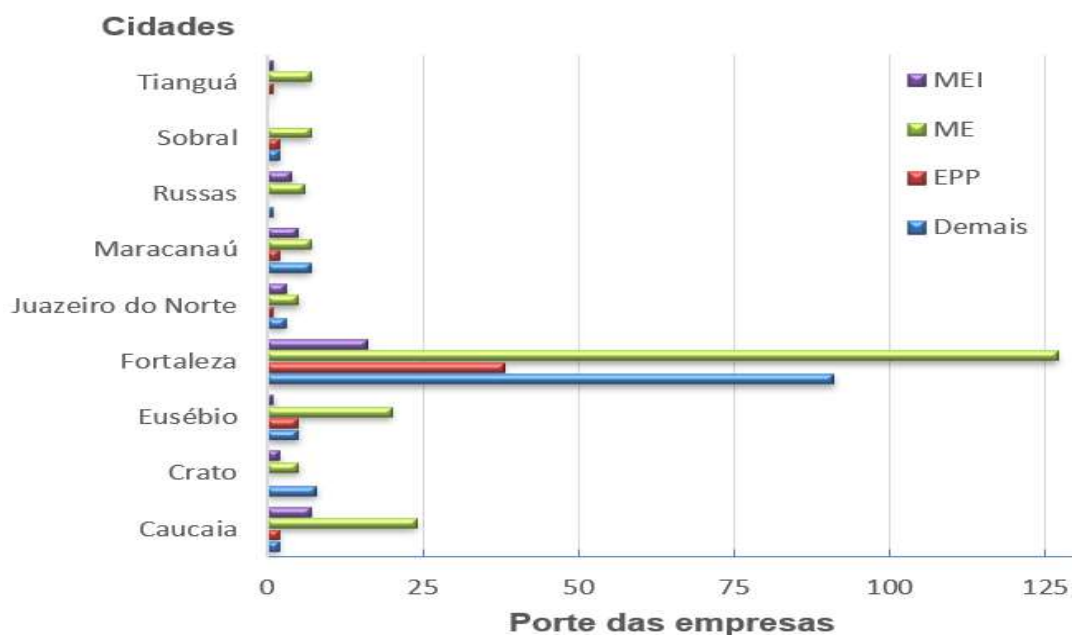
Figura 92 - Cidades com mais empresas da área de reúso de água no Ceará



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Diante desse cenário, foram feitas as análises foram realizadas com foco nessas cidades, considerando a sua grande representatividade a nível estadual. Foram sistematizados os dados de empresas de acordo com seu porte, conforme ilustrado na Figura 46.

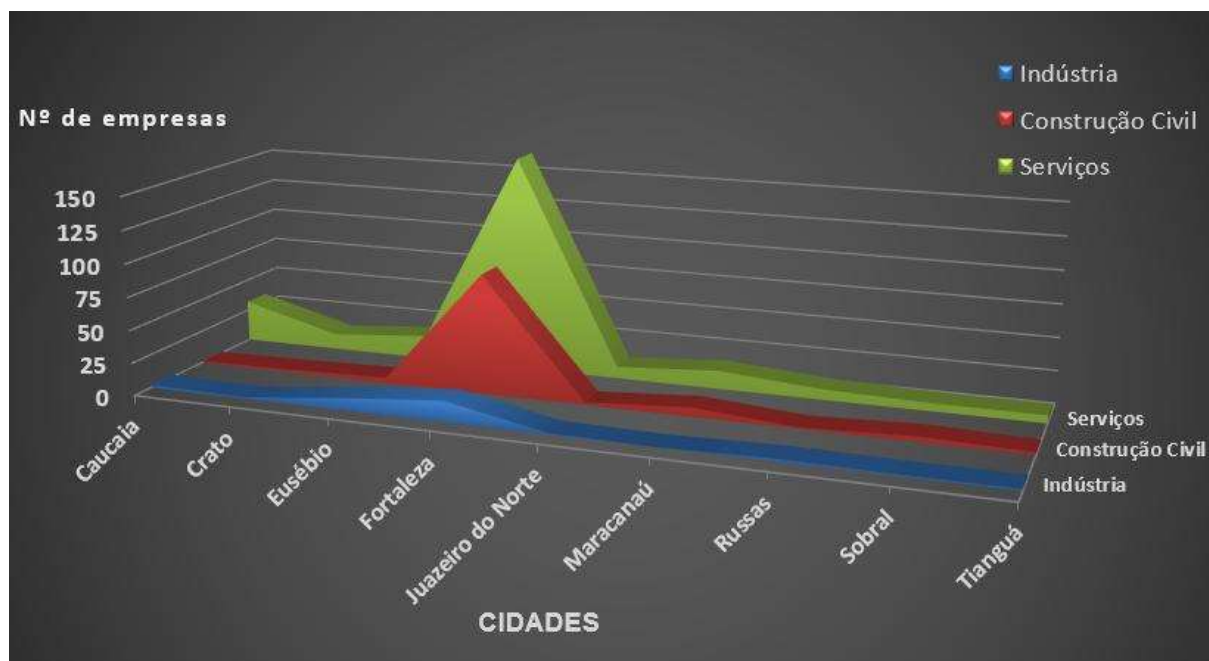
Figura 93 - Porte das empresas por cidades



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

Dessa forma, ficou evidente um padrão de distribuição bem semelhante ao cenário nacional, de forma que a quantidade de empresas menores, MEI e ME, supera as de médio e grande porte. Por fim, foi estudado a distribuição dos setores de atuação das empresas nesses municípios, conforme pode ser observado nas Figura 47.

Figura 94 - Setor de atuação por cidades



Fonte: Autor (Adaptado de DataSebrae Painéis, 2025).

As informações obtidas indicam um predomínio do setor de serviços em todas as cidades, em consonância com o constatado para o Brasil. Entretanto, particularmente para as cidades de Fortaleza, Eusébio, Maracanaú e Juazeiro do Norte houve um destaque expressivo do setor de construção civil em relação ao setor industrial. A compreensão dessa distribuição indica as maiores demandas de consumo de água e pode ser utilizada para orientar o direcionamento de esforços e estímulos às atividades de reúso de água com maior assertividade.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

As pesquisas realizadas evidenciaram que estão em alta as tecnologias de reúso de água, com destaque para o reúso agrícola, o reúso em edificações, reúso industrial, além do aproveitamento de águas pluviais. Em sua maioria, essas tecnologias estão associadas às técnicas de tratamentos por processos físicos, químicos e biológicos, adequadas à respectiva finalidade de aplicação.

Foram identificados entraves importantes para o reúso, como a ausência de uma regulamentação uniforme a nível global e de Brasil, a presença de substâncias contaminantes emergentes e desafiadoras que potencializam os riscos à saúde, bem como a necessidade de monitoramentos eficientes e confiáveis.

Concluiu-se que as patentes de tecnologias de reúso de água no cenário mundial cresceram substancialmente nos últimos anos. Foram mapeados no Brasil e no mundo quais são as principais tecnologias de reúso de água em desenvolvimento protegidas por patentes, as áreas tecnológicas correlatas e quais os principais depositantes envolvidos. Essa conjuntura evidenciou a importância do tema e despertou um otimismo quanto aos avanços tecnológicos e as chances de êxito na transferência dessas tecnologias.

Apesar disso, de modo oposto ao panorama mundial, o número de proteções no Brasil reduziu nos últimos anos. Ademais, a pouca proteção no Brasil indicou uma exploração ainda tímida das tecnologias de reúso de água, inclusive sem a presença de depositantes que se destacam. Em contrapartida, esse contexto demonstrou abertura e demanda tecnológica na área. Quanto às patentes mais relevantes no Brasil e no mundo, identificou-se que elas contemplaram dispositivos e sistemas de tratamento e reciclagem de águas residuais, principalmente águas residuárias domésticas.

No âmbito empresarial, a nível de Brasil foi observada uma desigualdade regional da matriz empresarial relacionada ao reúso de água, com grande concentração para a região sudeste, ficando a região nordeste em posição intermediária. Além disso, foi possível concluir que a maioria das empresas atuam no setor de prestação de serviços.

No que se refere ao estado do Ceará, a matriz empresarial está concentrada em Fortaleza, capital do estado, e em cidades maiores com área de influência considerável:

Caucaia, Eusébio, Maracanaú, Crato, Juazeiro do Norte, Russas, Sobral e Tianguá. Além do setor de serviços, o setor de construção civil se mostrou com grande potencial de investimento para a região metropolitana de Fortaleza. Quanto ao porte da malha empresarial, foi observado que existe um equilíbrio de atuação entre microempresas e empresas de médio e grande porte.

Em síntese, foi constatada a importância da água de reúso como fonte hídrica alternativa, considerando inclusive a conjuntura de escassez hídrica e mudanças climáticas. Todavia, é imprescindível a coordenação de esforços múltiplos nas esferas acadêmica, governamental, empresarial e social para o desenvolvimento, a disseminação e a segurança das práticas de reúso de água, promovendo a sustentabilidade econômica e socioambiental.

Quanto às perspectivas futuras, espera-se que os estudos sobre o reúso de água em suas diversas categorias sejam continuados, aprimorados e atualizados. Além disso, é fundamental que as tecnologias relacionadas ao reúso possam alcançar níveis de maturidade mais avançados, para que, através dos processos de transferência de tecnologia, sejam acessadas pelas empresas e pela população.

Não obstante, é desejável que o setor público atue de forma tempestiva para estabelecer regulamentações unificadas e seguras para todo o país. Outrossim, é expectável um aumento do engajamento do setor público e privado, inclusive através de subsídios e parcerias, para expandir a matriz empresarial com atuação nas práticas de reúso de água no Ceará e no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Reúso de Água nas Crises Hídricas e Oportunidades no Brasil**. 2015. Acesso em 02/12/2025.
- ABBASZADEGAN, M. *et al.* Water Reuse—Retrospective Study on Sustainable Future Prospects. **Water**, v. 17, n. 6, p. 789, 10 mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/w17060789>.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Brasil, 1997. Acesso em 25/09/2025.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - requisitos**. Brasil, 2019. Acesso em 29/11/2025.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16.783: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Brasil, 2019. Acesso em 29/09/2025.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. ANA declara situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos da Região Hidrográfica do Paraná. 2021. **Gov.br**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/anadeclara-situacao-de-escassez-quantitativa-dos-recursos-hidricos-da-regiao-hidrografica-do-parana>. Acesso em 20 de julho de 2025.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. Brasília: ANA, 2009.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA, 2019.
- ANGELAKIS, A.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMÉNEZ, B.; TCHOBANOGLIOUS, G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. 26, 2018. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>.
- ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Porte de empresas: esclareça todas as suas dúvidas. 2019. **Gov.br**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/porte-de-empresas-esclareca-todas-as-suas-duvidas>. Acesso em 31/10/2025.

BARBOSA, D. B. **Uma introdução à propriedade intelectual**. 2º ed. Rio De Janeiro: Editora Lumen Juris, 2003.

BARBOSA, M. T. **Sistemas de reuso de águas cinzas domésticas para agricultura familiar: o caso de comunidades rurais do estado do Ceará'** 25/03/2019 185 f. Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente Instituição de Ensino: Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: Biblioteca de Saúde Pública.

BERISHA, G.; PULA, J. S. Defining Small and Medium Enterprises: a critical review. **Academic Journal of Business, Administration, Law and Social Sciences**, Tirana, v. 1, n. 1, p. 17–28, mar. 2015. ISSN 2410-3918.

BRASIL. **Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996**. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Diário Oficial da União, 1996.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.546, de 04 de abril de 2023**. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas. Diário Oficial da União, 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 503, de 14 de dezembro de 2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Diário Oficial da União, 2021.

BRASIL. **Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 2005.

BRASIL. **Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. Diário Oficial da União, 2010.

BRITO, I. A. DE *et al.* Irrigação com reúso de água cinza em sistemas agroecológicos: uma revisão da literatura. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 18, n. 3, p. e16372, 18 mar. 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.3-212.

BRITTO, J. N. DE P.; RIBEIRO, L. C.; ALBUQUERQUE, E. DA M. E. International patent citations and its firm-led network. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 51, n. 4, p. 699–732, out. 2021.

CASARIM, R. **Usina de hidrogênio verde do Ceará utilizará água de reuso proveniente de esgoto tratado**. 2022. Ceará. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/armazenamento/usina-de-hidrogenio-verde-do-ceara-utilizara-agua-de-reuso-proveniente-de-esgoto-tratado>. Acesso em 01. Dez. de 2025.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC. Brasília, 2019.

CARNESI, M. *et al.* An innovative risk assessment framework for water reuse: The case study of CorConstrução. -). **Journal of Environmental Management**, v. 380, p. 125090, 28 mar. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125090>.

CARRIS, R. A diferença entre Empresa e Empresário. **Jusbrasil**, 09 de setembro de 2024. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/a-diferenca-entre-empresa-e-empresario/2711319332>. Acesso em 30/10/2025.

CARVALHO, C. B. Estudos de mobilidade de contaminantes no solo e de confiabilidade para avaliar o uso de águas residuárias tratadas em indústrias siderúrgicas. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). **Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental**, Fortaleza, 2021.

CEARÁ. **Lei nº 16.033, de 20 de junho de 2016**. Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do estado do Ceará. Diário Oficial do Estado do Ceará, 2016.

CEARÁ. **Resolução COEMA nº 02, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Diário Oficial do Estado do Ceará, 2017.

CEARÁ. **Com grande potencial em energias renováveis, o Ceará está se tornando a Casa do Hidrogênio Verde**. Ceará/Gov. Ceará, 2024. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2024/01/01/com-grande-potencial-em-energias-renovaveis-o-ceara-esta-se-tornando-a-casa-do-hidrogenio-verde/#:~:text=O%20HUB%20de%20Hidrog%C3%AAnio%20Verde,de%20H2V%20em%20larga%20escala>. Acesso em 04 de dez. 2025.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Água de Reúso de Estação de Tratamento de Efluentes: Oportunidades e Riscos para o Setor Empresarial**. Rio de Janeiro, 2022.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reúso de água**. Março de 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em 20/10/2025.

CHEN, X.-W. *et al.* Feature of water: A practical concept in water reuse. **Water Cycle**, v. 6, p. 300–305, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.04.001>.

CLEMENTS, E. *et al.* Review of quantitative microbial risk assessments for potable water reuse. **Environmental Science: Water Research & Technology**, 2025. <https://doi.org/10.1039/d4ew00661e>.

COSTA, C. S. *et al.* Reuse of Treated Wastewater to Address Water Scarcity in Viticulture: A Comprehensive Review. **Agronomy**, v. 15, n. 4, p. 941–941, 12 abr. 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040941>.

CULL-HOST, J. *et al.* New Mexico as a testbed for safe beneficial produced water reuse. **Environmental Challenges**, v. 19, p. 101116, jun. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101116>.

DAMACENO, M. G. DE S.; CRUVINEL, K. A. DA S.; SANTOS, A. S. P. Potencial de reúso agrícola na upgrh dos Afluentes Goianos do Baixo Paranaíba. **Revista DAE**, v. 71, n. 242, p. 146–161, 7 set. 2023.

DAS-CE. Secretaria do Desenvolvimento Agrário do estado do Ceará. 2025. Ceará. **Ceará inicia construção de sistemas de reúso de água e fossa ecológica com investimento de mais de R\$ 3 milhões**. Disponível em: <https://www.sda.ce.gov.br/2025/09/02/ceara-inicia-construcao-de-sistemas-de-reuso-de-agua-e-fossa-ecologica-com-investimento-de-mais-de-r-3-milhoes/>. Acesso em 02. Dez. de 2025.

DATA SEBRAE PAINÉIS. <https://datasebraeindicadores.sebrae.com.br/resources/sites/data-sebrae/data-sebrae.html#/Empresas> Acesso: 01 de setembro a 30 de outubro de 2025.

DOS SANTOS, A. B. Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais. Fortaleza, Brasil: **Imprece**, 2019. 812 p.

EPA. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. USAID. CDMSmith. **EPA/600/R-12/618**. Set. 2012.

FERREIRA, W.; FURTADO, A. C. Reúso de água em destiladores pilsen: uma prática sustentável. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 2943–2963, 17 jan. 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-175.

FERRI, E. N.; BOLELLI, L. Wastewater Remediation Treatments Aimed at Water Reuse: Recent Outcomes from Pilot- and Full-Scale Tests. **Applied Sciences**, v. 15, n. 5, p. 2448, 25 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/app15052448>.

FICO, G.C et al. Water reuse in industries: analysis of opportunities in the Paraíba do Sul river basin, a case study in Presidente Vargas Plant, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 44, p. 66085–66099, 30 abr. 2022.

FILHO, E. H. C. *et al.* Water Reuse: Contribution of a Decision Support Model. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 692–692, 16 jan. 2025.
<https://doi.org/10.3390/su17020692>.

FIRMINO, L. DE Q. *et al.* Tratamento e reúso de água para fins agrícolas em comunidade rural localizada no sertão Paraibano. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 10991–11011, 6 set. 2023. DOI: 10.55905/oelv21n9-028.

GARCIA-MARTINEZ, L. J. *et al.* Untangling the relationship between small and medium-sized enterprises and growth: a review of extant literature. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 19, p. 455–479, 13 jan. 2023.

HALL, Bronwyn H. Does patent protection help or hinder technology transfer? 2010. **Berkeley**. Disponível em: https://eml.berkeley.edu/~bhhall/papers/BHH13_KDI_paper.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Comissão Nacional de Classificação - Concla** | Busca online. 2025. Disponível em: https://cnae.ibge.gov.br/?option=com_cnae&view=estrutura&Itemid=6160&chave=&tipo=cnae&versao_classe=7.0.0&versao_subclasse=9.1.0&gl=1*f8cveb*_ga*MTM1ODMyNDc5Ni4xNzYwOTg3ODQz*_ga_oVE4HSDTTT*cZE3NjA5ODc4NDIkbzEkZzEkdDE3NjA5ODc5MDUkajU5JGwwJGgw. Acesso: 01 de setembro a 05 de outubro de 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **Panorama das cidades brasileiras**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>. Acesso em 20/10/2025.

INPI. INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (Brasil). **Inventando o futuro: uma introdução às patentes para as pequenas e médias empresas**/ Instituto Nacional da Propriedade Industrial. – Rio de Janeiro: INPI, 2013.

JINAN SHENGQUAN GROUP SHARE HOLDING CO Ltd. Tang Yilin, Jiang Chengzhen, Gao Shaofeng, Lü Dongsheng, Shen Zujiang, Suo Xuanwei. **Method and system for treating furfural production wastewater and method and system for furfural production**. CN n. 100352776C, 09 nov. 2006, 05 dez. 2007.

JINAN SHENGQUAN GROUP SHARE HOLDING CO Ltd. Yilin Tang, Chengzhen Jiang, Shaofeng Gao, Dongsheng Lv, Zujiang Shen, Xuanwei Suo. **Method and system for disposal of furfural wastewater and method and system for furfural production**. US n. 8,764,947 B2, 08 nov. 2006, 13 dez. 2007.

KEFFALA, C. *et al.* Diagnosis and Assessment of a Combined Oxylag and High Rate Algal Pond (COHRAP) for Sustainable Water Reuse: Case Study of the University Campus in Tunisia. **Water**, v. 17, n. 9, p. 1326, 29 abr. 2025.
<https://doi.org/10.3390/>

KHAN, U. A. *et al.* Towards sustainable water reuse: A critical review and meta-analysis of emerging chemical contaminants with risk-based evaluation, health hazard prediction and prioritization for assessment of effluent water quality. **Journal of Hazardous Materials**, p. 136175–136175, 1 out. 2024.

LIMA, M. A. DE M. *et al.* Water reuse in Brazilian rice farming: Application of semiquantitative microbiological risk assessment. **Water Cycle**, v. 3, p. 56–64, 2022.

MANNINA, G. *et al.* Ultrafiltration membrane modelling: Comparing two mathematical models by sensitivity and uncertainty analysis for Palermo and Corleone (Italy) water reuse case studies. **Science of The Total Environment**, v. 963, p. 178456, fev. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178456>.

MARQUES, M. V. A. *et al.* Reúso não potável de água: Aspectos legais, aproveitamento urbano e agrícola, e tecnologias emergentes para produção de água para reúso. Nota Técnica 3 - Uso agrícola: Condições de aplicabilidade de efluente de estações de tratamento de esgoto. **Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 29-41, 2022.

MEDEIROS, J. A. DE. Aula de campo na educação geográfica no semiárido brasileiro: estudo do reúso de água na irrigação da acerola. **Geoconexões**, v. 2, n. 16, p. 47–63, 21 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.15628/geoconexes.2023.15723>.

METCALF & EDDY, Inc. an AECOM Company et. Al. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. 1st ed. New York: McGRAW-HILL, 2007.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003.

NEGOSSEQUE, CLAUDIO ANTONIO. **Sistema de reuso de água, para descarga no vaso sanitário**. BR n. 102015010300A2, 6 maio 2015, 01 mar. 2017.

ONU. ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 20/10/2025.

OMS. Organização Mundial da Saúde, Avaliação quantitativa do risco microbiano: aplicação à água, Gestão da Segurança. **Organização Mundial da Saúde**, 2017.

PALIAGA, S. *et al.* Resource recovery from wastewater treatment: Effects of water reuse and slow-release fertilizers on faba bean within Palermo University (Italy) case study. **Journal of Environmental Management**, v. 373, p. 123839–123839, 1 jan. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123839>.

PÓVOA, L. M. C.; RAPINI, M. S. Technology transfer from universities and public research institutes to firms in Brazil: what is transferred and how the transfer is carried out. **ANPEC / working paper / Science and Public Policy**, 2010. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/encontro2009/inscricao.on/arquivos/000-ea89aeb87b91fc73d8bb6d5799713887.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

QUESTEL. Entenda o status legal e a situação jurídica em FAMPAT/FULLPAT. **Orbit Intelligence**. 2024. Acesso em 29 nov. 2025.

QUESTEL. Regras de construção da família FAMPAT. **Orbit Intelligence**. 2020. Acesso em 29 set. 2025.

RAMANAMANE, N.; PITA, M. Designing a High-Performance Oil–Water Filtration System: Surface-Enhanced Quartz with Hydrophilic Nanoparticles for Sustainable Water Reuse and Global Water Scarcity Solutions. **Water**, v. 17, n. 4, p. 501, 11 fev. 2025. <https://doi.org/10.3390/w17040501>.

RICHARDSON, M. Conheça as principais formas jurídicas das empresas. **SEBRAE**, 2025. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/caracteristicas-das-empresas-pela-forma-juridica,813ae3ae7d316410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em 30/10/2025.

ROCHA, C. T. S. *et al.* **Qualidade da água de uma nova tecnologia social de tratamento de água cinza**. Research, Society and Development, v. 12, n. 5, e5512541418, 2023.

SAFARPOUR, H. *et al.* Barriers and drivers to implement alternative water use in the chemical industry: A stakeholder perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 517, p. 145582, jul. 2025.

SANT'ANA, D. R.; LEO, M.; SANTANA, L. F. Potencial do aproveitamento de água de chuva e do reúso de água cinza em edificações de escritórios em Brasília-DF. **Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**, v. 15, p. 167–176, 14 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46421/sispred.v3.2984>.

SANTIAGO, F; JALFIM, F. O sistema bioágua familiar. **Lições para o desenvolvimento em Moçambique e no Brasil** -Volume 2. 2018.

SANTOS, A. B. DOS; MOTA FILHO, C. R. Non-potable water reuse: legal aspects, urban and agricultural use, and emerging technologies for the production of water for reuse Technical Note 1 – Interest topics. **Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 5–14, 2022.

SANTOS, A. S. P. *et al.* A perspective for the acceptance of water reuse: history of the valorization of wastewater throughout the development of society. **Water policy**, 22 mar. 2024.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M. Reúso não potável de água: Aspectos legais, aproveitamento urbano e agrícola, e tecnologias emergentes para produção de água para reúso. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. **Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SANTOS, A. S. P; LIMA, M. A. M; SOARES, S. R. A. Diretrizes para o reúso de água no Brasil. **Instituto Reúso de Água**, Braga / Portugal – Rio de Janeiro / Brasil, 2025.

SANTOS, A.S.P; LIMA, M.A.M. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. **Cadernos Técnicos Eng. Sanit. Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 15-27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/276455760203002>.

SEBRAE. Serviço de apoio às micro e pequenas empresas. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. Sistema FIRJAN- Federação das indústrias do estado do rio de janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

SEIS, W. *et al.* Comparison of statistical evaluation approaches for log-removal validation according to European water reuse regulations. **Science of The Total Environment**, v. 964, p. 178573, fev. 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178573>.

SHAMSAEIFAR, M. R.; MEHRDADI, N.; NABI BIDHANDI, G. Optimizing Reservoirs to Provide Water in Times of Crisis, With Emphasis on the Reuse of Treated Wastewater in Different Uses. **Journal of Advances in Environmental Health Research**, v. 13, n. 1, p. 51–59, 22 jan. 2025.
<https://doi:10.34172/jaehr.1379>.

SHI, Q. *et al.* Safe Reuse of Treated Wastewater: Accumulation of Contaminants of Emerging Concern in Field-Grown Vegetables under Different Irrigation Schemes. **Environmental science & technology**, v. 59, n. 12, p. 6261–6271, jan. 2025. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c13666>.

SINISA. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico / **Saneamento básico no Brasil 2024 (base 2023)** / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/ Ministério das Cidades.
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDU1ZmM4ZjYtNTUoYSooYjFkLWE5NzYtMjNkZThjYig3YzVmIiwidCI6IjFmMWJlODAoLWVlZGYtNDJmNC1iZGExLTdmMjllhYmU2ZDQ3YSJ9&pageName=344bbd2d217999c8e747>.

SOARES, F. A. *et al.* Estudo de caso sobre a avaliação do potencial qualitativo do reúso de água residuária na ETE - rio Pará de Divinópolis-MG. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 8, n. 1, p. e77204–e77204, 1 fev. 2025. DOI: 10.34188/bjaerv8n1-056.

SPECKER, J. C. *et al.* Risk characterisation of chemicals of emerging concern in real-life water reuse applications. **Environment International**, v. 195, p. 109226, jan. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109226>.

TAMMONE, C. *et al.* Efficient phytoremediation of first-flush storm water using an innovative constructed wetland: a pilot-scale study towards sustainable water reuse. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all**

Aspects of Plant Biology, v. 159, n. 1, p. 66–78, 2 jan. 2025.
<https://doi.org/10.1080/11263504.2024.2446782>.

TEECE, David J. Technology transfer by multinational firms: the resource cost of transferring technological know-how. **The Economic Journal**, v. 87, n. 346, p. 242–261, 1977.

TEYMENNET-RAMÍREZ, K. V. *et al.* Detoxification of tequila vinasse by *Trametes sanguineus*: a biotechnological approach to laccase production and water reuse in seedling growth. **Environmental Science and Pollution Research**, 8 abr. 2025.
<https://doi.org/10.1007/s11356-025-36377-5>.

TIMMER, M. J. *et al.* Combined membrane aeration and filtration for energy- and space-efficient COD removal in water reuse. **Water Research X**, v. 27, p. 100344, 14 abr. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2025.100344>.

TRECOSSI, L. V. P. *et al.* Otimização da retrolavagem dos filtros de areia utilizados para reúso de água como estratégia para a gestão hídrica. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 12, p. 33458–33473, 22 dez. 2023. DOI: 10.55905/revconv.16n.12-261.

VIANA, L. S. Patents Go to The Market? University-Industry Technology Transfer from a Brazilian Perspective. **JOTMI – Journal of Technology Management & Innovation**, 2018. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27242018000300024&script=sci_arttext. Acesso em: 1 nov. 2025.

VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J.; RATNAWEERA, H. High Rate Stormwater Treatment for Water Reuse and Conservation—Review. **Applied Sciences**. 2025, 15, 590. <https://doi.org/10.3390/app15020590>.

VILLACORTA-RANERA, C.; ECKSTEIN, G.; BLANCO-GUTIÉRREZ, I. Challenges and prospects of reclaimed water reuse in Spanish agriculture. **Water International**, p. 1–21, 28 abr. 2025.
<https://doi.org/10.1080/02508060.2025.2485856>.
w17091326.

WONG, A. C. C. *et al.* Diversity and functional capabilities of the microbial metagenome in a potable water reuse system. **Desalination and Water Treatment**, v. 322, p. 101210, abr. 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101210>.

ZPE-CE. Zona de Processamento de Exportação do Ceará. 2020. Ceará. **No mês do meio ambiente Complexo do Pecém celebra sistema de reúso de água que economiza mais de 200 mil litros por semana**. Disponível em: <https://zpeceara.com.br/no-mes-do-meio-ambiente-complexo-do-pecem-celebra-sistema-de-reuso-de-agua-que-economiza-mais-de-200-mil-litros-por-semana/>. Acesso em 01. Dez. de 2025.

ANEXO A – Comprovante de submissão/publicação de artigo

04/11/2025, 22:31

E-mail de IFCE - Instituto Federal do Ceará - Santos - Saneamento Básico, Sars-Cov-2 (Covid-19) e Lei 14.026/2020.



Lucas Daniel de Carvalho Santos <lucas.daniel@ifce.edu.br>

Santos - Saneamento Básico, Sars-Cov-2 (Covid-19) e Lei 14.026/2020.

2 mensagens

Lucas Daniel de Carvalho Santos <lucas.daniel@ifce.edu.br>
 Para: "editor.rbgas@gmail.com" <editor.rbgas@gmail.com>

30 de outubro de 2025 às 09:28

Prezados editores, bom dia.

Venho por meio deste, encarecidamente, submeter o artigo em anexo na Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade (ISSN 2359-1412). Ciente da importância e impacto dessa estimada revista e acreditando na contribuição do referido trabalho, agradeço antecipadamente pela atenção e disponibilidade, ao passo que anseio pelo aceite do trabalho.

--
 Atenciosamente,

Prof. Lucas Daniel
Eixo Ambiente, Saúde e Segurança
 IFCE - Campus Sobral

2 anexos

Artigo Saneamento - 29_10_2025.docx
 717K

Artigo Saneamento - 29_10_2025.pdf
 1524K

Editor Rbgas <editor.rbgas@gmail.com>
 Para: Lucas Daniel de Carvalho Santos <lucas.daniel@ifce.edu.br>

1 de novembro de 2025 às 17:50

Prezado Dr. Lucas Daniel de Carvalho Santos,

Recebemos seu manuscrito intitulado:

Conexão entre Saneamento Básico, Sars-Cov-2 (Covid-19) e Lei 14.026/2020: uma revisão sistemática de literatura - Lucas Daniel de Carvalho Santos e Glória Maria Marinho Silva

e, tendo sido previamente analisado, tem potencial para ser considerado para publicação na **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, desde que os autores estejam dispostos a atender a eventuais correções e adequações no artigo, apontados pela comissão editorial e consultores *ad hoc*.

A **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** não recebe nenhum tipo de subsídio e fez convênio com a CrossRef para serem atribuídos DOI (Digital Object Identifier), que é um padrão para identificação de documentos em redes de computadores, para todos os artigos (inclusive os já publicados, considerando que a atribuição pode ser retroativa). Como a atribuição do DOI é onerosa, estamos convidando os autores para fazer uma doação mínima de **R\$ 400,00 (quatrocentos reais)** para que possamos manter a qualidade da revista (conceito B1 no Qualis/Capes), que também inclui a editoração eletrônica da revista (PDF e HTML), bem como, para atender às novas diretrizes da CAPES, instalar o **Open Journal Systems (OJS)**, que é um software livre para o gerenciamento de periódicos acadêmicos revisados por pares. Observe que a revista continuará gratuita para a consulta dos artigos.

Por favor, use os dados bancários abaixo para fazer um PIX:

Nome: Ronilson José da Paz
CPF: [REDACTED]
PIX: [REDACTED]
Banco: Nu Pagamentos S.A. (260)

Para o manuscrito ser enviado aos revisores, por favor envie comprovante da colaboração e os IDs ORCID de **todos** os autores. Se for o caso, crie o seu ID em <https://orcid.org/register>.

04/11/2025, 22:31

E-mail de IFCE - Instituto Federal do Ceará - Santos - Saneamento Básico, Sars-Cov-2 (Covid-19) e Lei 14.026/2020.

Para manter um "diálogo" no Gmail, responda sempre a última mensagem que receber, mantendo sempre o mesmo assunto.

Para qualquer informação adicional sobre o seu manuscrito, por favor sempre indique o código **RBGAS-2025-0175**.

Atenciosamente,

Nyelson da Silva Nonato
Editor-Assistente

[Texto das mensagens anteriores oculto]

--

Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade
Comissão Editorial