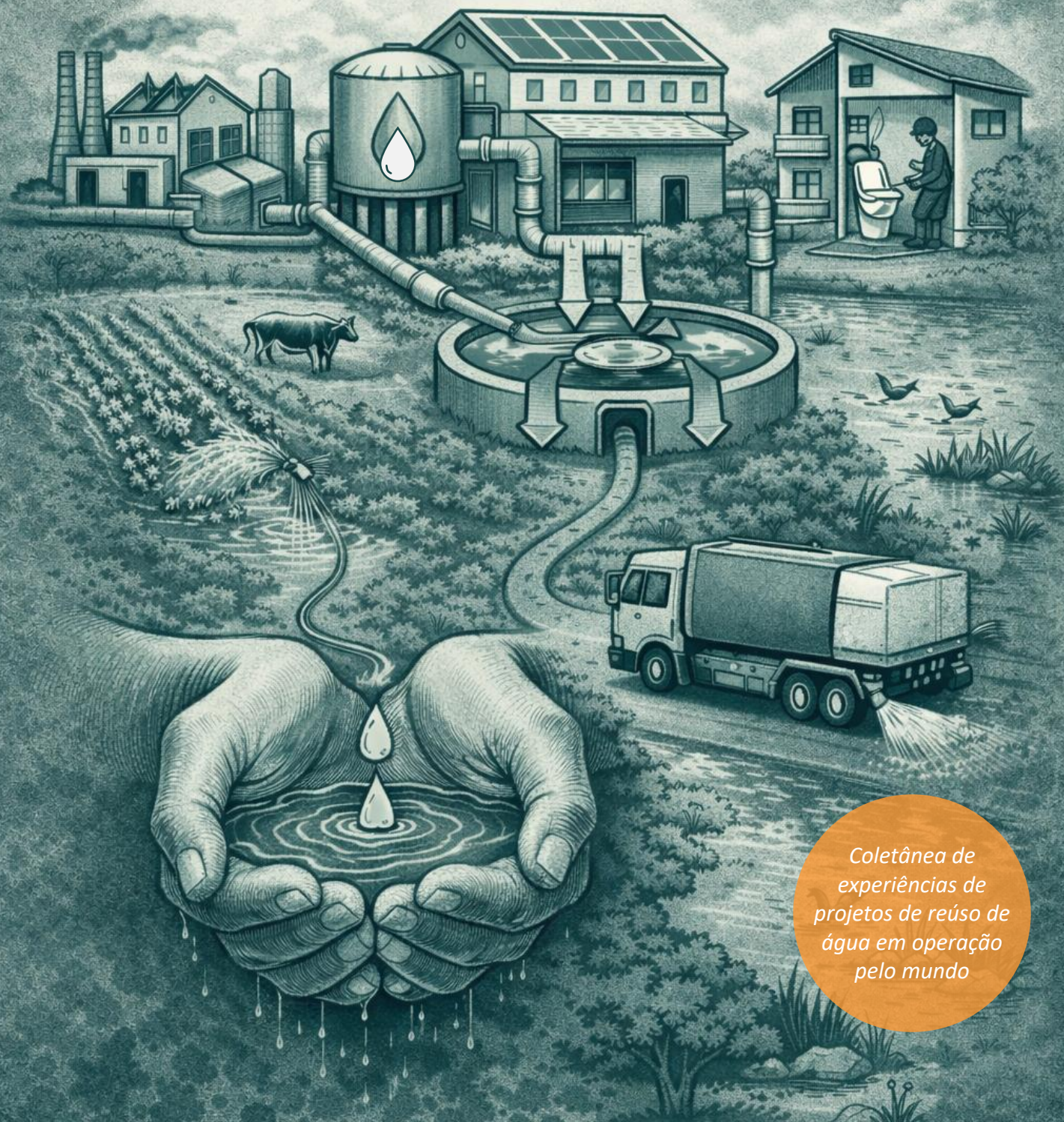


REÚSO DE ÁGUA NA PRÁTICA



*Coletânea de
experiências de
projetos de reúso de
água em operação
pelo mundo*

Colaboração:



Ao compartilhar
conhecimento, ajudamos a
formar uma cultura de
aprendizado contínuo.

Ao compartilhar experiências,
criamos a oportunidade de
impulsionar novas ações.

#ReúsoSeguro
#ReúsoResponsável
#ReúsoSustentável

REÚSO DE ÁGUA NA PRÁTICA

O relatório **REÚSO DE ÁGUA NA PRÁTICA** tem o objetivo de inspirar uma gestão hídrica mais eficiente, voltada para a inovação do século XXI, considerando a diversificação da matriz hídrica regional a partir da inclusão da água para reúso em diferentes modalidades de uso da água. Trata-se de um *benchmarking* internacional e uma coletânea de experiências de projetos de reúso de água em operação pelo mundo, apresentando diferentes modelos de negócio, atores envolvidos, modalidades, formatos de gestão, tipos de parcerias e outros. O relatório contém elementos que perfazem um atlas de experiências existentes, em blocos de itens tais como caracterização do local do empreendimento, gatilhos para desenvolvimento do projeto, modelo de negócio estabelecido, aplicação e arranjo tecnológico envolvidos na produção da água, análise financeira e capacidade do projeto, impactos sociais e ambientais, além dos principais desafios encontrados bem como lições aprendidas. Os itens de cada projeto estão apresentados em forma de “fichas” objetivas com dados claros e de fácil acesso. Para complementar, fluxogramas, gráficos, imagens, fotografias e tabelas resumo são apresentadas de forma a tornar o documento mais visual e uma referência para consulta de dados.

O “Reúso de Água na Prática” foi desenvolvido pelo Instituto Reúso de Água e contou com o patrocínio da Braskem, da GIGWATER, da SANEARES e do CR ETES.

Elaboração e conteúdo: Ana Sílvia Santos (Diretora Executiva)

Revisão geral: Máira Lima (Vice-Diretora) e Sérgio Ayrimoraes (Cofundador)

Como citar essa publicação: Santos, A.S.P. (2026). Reúso de Água na Prática. Instituto Reúso de Água. Braga, Portugal / Rio de Janeiro, Brasil.

Colaboração:



Experiências de projetos de reúso de água no mundo no caminho da inovação



O reúso de água no mundo vem se desenvolvendo de maneira sólida ao longo das últimas décadas. A prática, quando realizada com responsabilidade e segurança, se torna um dos principais pilares para a solução da crise hídrica mundial.

Sabemos que a população mundial vai continuar crescendo, assim como a demanda de água para os diferentes usos. Além disso, não há indícios de transformação do modelo de consumo atual para um consumo sustentável, mesmo mediante todos os esforços notáveis para este fim. Ainda, podemos afirmar que o clima continuará sofrendo alterações e levando aos eventos extremos que têm resultado em secas cada vez mais severas, mais presentes e menos previsíveis.

Este cenário, por si só, deveria acender todos os alertas da gestão hídrica mundial, com o objetivo de criar mecanismos de planejamento e ação para a incorporação da água para reúso na diversificação do portfólio hídrico regional.

Muitos países e regiões do planeta já deram a largada rumo à institucionalização da prática de reúso de água; alguns em função do cenário hídrico crônico de vulnerabilidade e outros, em função das previsões negativas que os acometem.

O momento global nos impele a tomar atitudes mais contundentes, objetivas e corajosas de transformação conceitual em relação às práticas produtivas que envolvem grandes consumos de água.

Diante da missão do Instituto Reúso de Água de participar ativamente desta transformação, o relatório “Reúso de Água na Prática” tem o objetivo de reunir informações práticas de experiências internacionais que revelam características e detalhes essenciais para o sucesso dos projetos. Trata-se de uma coletânea de casos, sob diferentes perspectivas, para inspirar avanços no Brasil e em outras regiões do mundo.

Boa leitura!

Ana Silvia Santos

Diretora Executiva
Instituto Reúso de Água

PATROCINADORES

Cota Master



Sibylle Muller
Chief Executive Officer

Nina Muller
Diretora Geral



“ Ao longo de 25 anos, a NeoAcqua ajudou a mostrar que o reúso de água não precisa esperar por grandes estruturas centralizadas para acontecer: sistemas modulares e descentralizados já entregam resultados reais e mensuráveis em todo o Brasil. Participar do **Reúso de Água na Prática** reforça nosso papel de agente ativo na institucionalização dessa prática no país, e nosso compromisso em seguir liderando essa transformação junto a clientes, parceiros e ao próprio setor de saneamento ”

“ Preservar os recursos hídricos é o propósito que deu origem à NeoAcqua e que, ao longo de 25 anos, consolidou-se como nossa missão empresarial. O relatório **Reúso de Água na Prática** traduz essa missão em projetos reais, demonstrando que o reúso de água é uma prática viável e capaz de gerar benefícios concretos, tanto para a sociedade quanto para o empreendedor. Como patrocinadora desta iniciativa, a NeoAcqua reforça seu compromisso com a disseminação do reúso como prática estruturante para a segurança hídrica do Brasil. ”

O relatório **Reúso de Água na Prática** foi integralmente desenvolvido pela equipe do Instituto Reúso de Água e viabilizado pelas instituições que aportaram recursos à sua condução. O documento é de circulação gratuita, graças ao compromisso financeiro dos patrocinadores, com o objetivo de alcançar o maior público possível e inspirar novos projetos no Brasil.

PATROCINADORES

Cota Intermediária



Roberta Manzini

Gerente de Desenvolvimento
Sustentável



“ O relatório *Reúso de Água na Prática* transforma experiências reais em conhecimento acessível, reunindo exemplos que mostram como o reúso de água pode gerar benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Ao apresentar diferentes modelos, desafios e aprendizados, a publicação inspira organizações e setores a avançarem na construção de um futuro mais resiliente. Como patrocinadora máxima desta iniciativa, a Braskem reforça seu compromisso com o diálogo, a inovação e a promoção de soluções sustentáveis. ”

Cota apoiador



**Gabriel
Rodrigues**

Sócio Diretor



**Gustavo
Basílio**

Sócio Diretor



**Lucas
Chamhum**

Sócio Diretor



O relatório *Reúso de Água na Prática* foi integralmente desenvolvido pela equipe do Instituto Reúso de Água e viabilizado pelas instituições que aportaram recursos à sua condução. O documento é de circulação gratuita, graças ao compromisso financeiro dos patrocinadores, com o objetivo de alcançar o maior público possível e inspirar novos projetos no Brasil.

Capítulo 1

IRdA e Apresentação

06

Capítulo 2

Contextualização

10



Capítulo 3

Descrição e análise dos casos

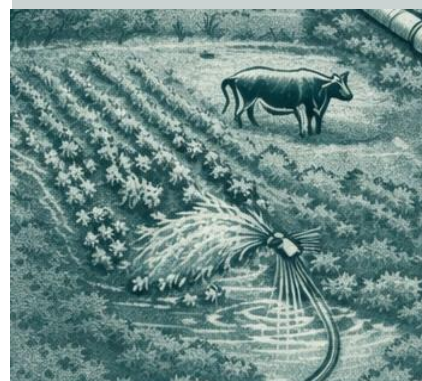
14



Capítulo 4

Modelos de negócio associados

39



Capítulo 5

Síntese de dados

44

Capítulo 6

Desafios e lições aprendidas

49

Capítulo 7

Considerações finais

52



Capítulo 8

Espaço do patrocinador

54

Lista de Abreviaturas (exceto as siglas institucionais)

AR	Água para reúso	MF	Microfiltração
BOT	<i>Build-Operate-Transfer</i>	MBR	Membrane Bioreactor
BOOT	<i>Build-Own-Operate-Transfer</i>	O&M	Operação e Manutenção
CAPEX	Capital de investimento	OI	Osmose Inversa
CFF	Coagulação-Floculação-Filtração	OPEX	Capital de operação
DBOO	<i>Design-Build-Own-Operate</i>	PPP	Parceria público-provada
DBOOT	<i>Design-Build-Own-Operate-Transfer</i>	RPD	Reúso potável direto
DBOT	<i>Design-Build-Operate-Transfer</i>	RPI	Reúso potável indireto
DRAB	Diretrizes para o Reúso de Água no Brasil	UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
DTSS	<i>Deep Tunnel Sewerage System</i>	UF	Ultrafiltração
ETA	Estação de Tratamento de Água	UV	Ultravioleta
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto		

Lista de Figuras

Figura 1 Amplitude das ações do IRdA	7	Figura 12 Fluxograma projeto Atotonilco (México)	28
Figura 2 Fluxo metodológico do estudo	9	Figura 13 Fluxograma projeto Barcelona (Espanha)	30
Figura 3 Percentual de reúso de água a partir do esgoto tratado	11	Figura 14 Fluxograma projeto Singapura (1ª Fase)	33
Figura 4 Aspectos analisados em cada projeto	15	Figura 15 Fluxograma projeto Singapura (2ª Fase)	33
Figura 5 Mapa de localização dos projetos analisados no estudo	17	Figura 16 Fluxograma projeto Orange County (Califórnia, Estados Unidos)	35
Figura 6 Fluxograma projeto Surat (Índia)	18	Figura 17 Fluxograma projeto Windhoek (Namíbia)	37
Figura 7 Fluxograma projeto (1º Modelo) Chennai (Índia)	20	Figura 18 Relação entre modalidade de reúso e modelo de negócio	43
Figura 8 Fluxograma projeto (2º Modelo) Chennai (Índia)	20	Figura 19 Frequência das tecnologias adotadas	45
Figura 9 Fluxograma projeto Antofagasta (Chile)	22	Figura 20 Capacidade de cada projeto	45
Figura 10 Fluxograma projeto Alicante (Espanha)	24	Figura 21 Resumo geral dos projetos	48
Figura 11 Fluxograma projeto Milão (Itália)	26	Figura 22 Relações entre desafios e lições aprendidas	51

Lista de Tabelas

Tabela 1 Período de regulamentação e Índices de reúso de água em relação ao esgoto tratado + regressão linear	13	Tabela 4 Resumo dos modelos de contrato PPP e partilha de investimentos	43
Tabela 2 Casos abordados no estudo	15	Tabela 5 Síntese de dados	46
Tabela 3 Modelos de negócio adotados nos projetos abordados no estudo	41		

IRdA E APRESENTAÇÃO

*Uma abordagem sobre o Instituto Reúso de Água, seus objetivos e ações.
Descrição geral do estudo, objetivos e motivação para sua realização,
enquadramento, delineamento e fluxo metodológico.*

IRdA E APRESENTAÇÃO

O Instituto Reúso de Água (IRdA) é uma organização não governamental, sem fins lucrativos, fundada em 2023, em Portugal, como uma cooperação internacional com o Brasil. Nosso trabalho, com base técnico-científica, tem foco na transferência de conhecimento, a partir da produção, gestão e compartilhamento de conteúdo relacionado ao reúso do água.

Nossas ações educacionais e de advocacy têm subsidiado o setor de recursos hídricos em seus contextos público e privado, no sentido de apontar para o desenvolvimento seguro e responsável da prática de reúso de água como um dos principais pilares da segurança e da resiliência hídrica.

Nosso site e nossas redes sociais estão recheados de conteúdo gratuito de capacitação e conhecimento técnico-científico sistematizado em documentos, relatórios, vídeos, webinars e podcasts para fins de promoção da construção coletiva do conhecimento.

Em 2026, completamos o nosso primeiro triênio com números surpreendentes que demonstram a importância das ações do IRdA e o desejo da sociedade em ampliar o seu conhecimento sobre o tema.



Figura 1 | Amplitude das ações do IRdA

Apresentação

O mundo está em constante transformação. Nossos hábitos de consumo estão na contramão da sustentabilidade, somos mais de 8 bilhões de pessoas no planeta e as alterações climáticas têm mostrado seus efeitos de maneira sistemática. Precisamos mudar a forma como gerimos a água, os conceitos que envolvem o seu uso, o modo como a utilizamos e o entendimento geral sobre a sua qualidade para diferentes fins.

Ao longo do desenvolvimento da humanidade, usamos a água como se não houvesse amanhã. No passado, quando uma sociedade se deparava com a escassez do recurso por excesso do seu uso, por má gestão, ou por força do seu ciclo sazonal natural, tinha a oportunidade de migrar para outras regiões e de se reestabelecer em novas condições hídricas. O conceito de poluição e de contaminação da água não era conhecido e nem mesmo podia ser considerado um fator relevante para a qualidade geral das coleções hídricas (IRdA, 2026).

A partir do período *Histórico* do desenvolvimento da humanidade, a fixação da sociedade no território gerou outro tipo de interação do homem com a água. Na Antiguidade, civilizações como a Minoica e a do Vale do Indo, conceberam e implantaram canais coletores de resíduos transportados, em geral, pela água da chuva. Estas estruturas, consideradas extremamente avançadas para a época, tinham o objetivo de afastar os dejetos e aplicá-los na agricultura a partir da observação do potencial de ganho de produtividade agrícola com esta ação. Posteriormente, durante a Idade Média, toda a evolução sanitária registrada no período anterior foi menosprezada e as infraestruturas foram destruídas, principalmente como foco de batalhas e guerras. Mais à frente, a Idade Moderna foi marcada pela retomada da preocupação sanitária em função das grandes epidemias que assolaram várias regiões do mundo. Neste período, a Teoria Microbiana, que afirmava que a água contaminada era a causa das doenças da época, lutava para ganhar espaço em um cenário científico que ainda acreditava na Teoria Miasmática. Por fim, a Idade Contemporânea vem sendo marcada por significativos avanços e inovações tecnológicas e científicas no setor, levando ao aumento sistemático da implantação de estações de tratamento de esgotos para descarga de seus efluentes em cursos d'água. Mais recentemente, a sociedade vem incorporando o entendimento de que a utilização dos efluentes sanitários tratados, de maneira segura e sistemática, pode ser a grande virada para uma forma mais sustentável de lidar com os cenários de estresse e escassez da água, garantindo segurança e resiliência hídrica às atuais e novas gerações (Santos et al., 2024).

Ao longo da história, a água foi motivo de acensão e de queda de grandes impérios, foi responsável pelo desenvolvimento de nações, foi objeto de batalhas e guerras, permitiu o estabelecimento da agricultura irrigada e da industrialização, foi veículo de disseminação de doenças e no sentido inverso, de higienização para preveni-las.

Mais recentemente, no contexto da crise global ambiental, climática e hídrica, o desenvolvimento da humanidade demanda a exploração consciente de novas fontes de água, como os esgotos tratados. Considerando o conhecimento científico e tecnológico que temos hoje, podemos afirmar que **conseguimos produzir qualquer água a partir de qualquer água**. Isso significa que temos capacidade de fazer uso sistemático de águas residuais para diferentes aplicações que demandam diferentes qualidades de água.

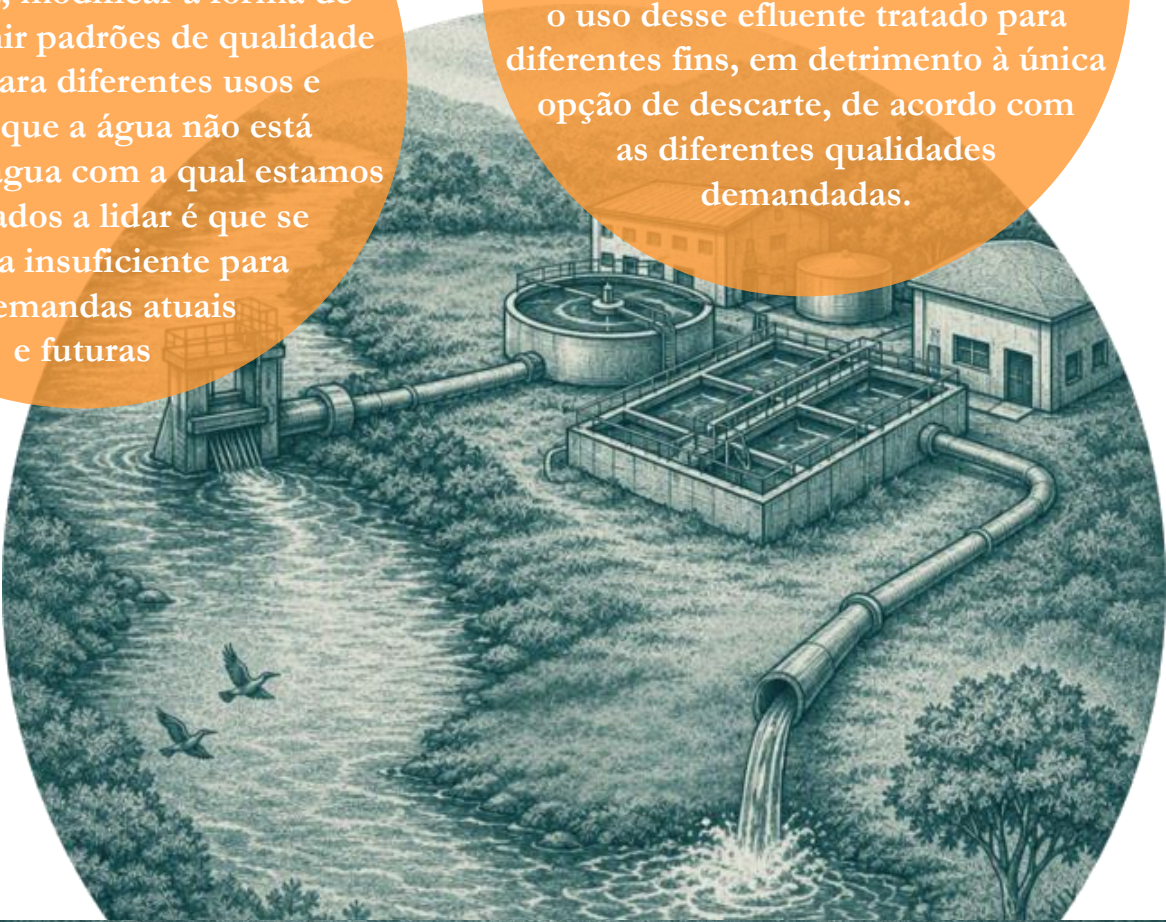
Neste contexto, a prática de reúso de água se configura como um dos principais pilares para o enfrentamento dos desafios associados ao novo normal hídrico do planeta.

O conceito que vigora atualmente sobre sistema de abastecimento de água se inicia com captação em coleções hídricas doces superficiais e subterrâneas, assim como o conceito de esgotamento sanitário finaliza no descarte de efluentes tratados em copos hídricos. No entanto, a gestão mais moderna deve fazer uso de novas fontes de água para sistemas de abastecimento e de novas possibilidade de aproveitamento do efluente tratado, em detrimento à única opção de descarte. Este entendimento precisa ser transversal aos setores público e privado que lidam com a água (concepção, projeto e operação), à educação escolar de base e avançada, às entidades regulatórias e à sociedade de maneira geral.

De acordo com IRdA (2026), a sociedade do século 21 poderá entrar para os livros de história como aquela que passou a usar fontes alternativas de água em seus projetos de abastecimento, trazendo uma nova realidade hídrica para o planeta.

Precisamos mudar conceitos, estabelecer novos formatos de gestão hídrica, recriar projetos de uso da água, modificar a forma de ensinar, definir padrões de qualidade da água para diferentes usos e entender que a água não está acabando. A água com a qual estamos acostumados a lidar é que se encontra insuficiente para as demandas atuais e futuras

No século XX o mundo entendeu que precisava tratar o esgoto antes do seu descarte no meio ambiente. No século XXI, o mundo precisa entender que é preciso criar compromisso com o uso desse efluente tratado para diferentes fins, em detrimento à única opção de descarte, de acordo com as diferentes qualidades demandadas.



O Instituto Reúso de Água vem trabalhando intensamente na produção de conteúdo, no desenvolvimento de diferentes modelos de capacitação e na divulgação de material com o objetivo de contribuir para essa virada de pensamento e para a construção coletiva do conhecimento. Todo o material disponibilizado gratuitamente no nosso site também inspirou a concepção e a elaboração do presente estudo.

O presente estudo apresenta características técnicas e financeiras de projetos de reúso de água em operação pelo mundo. O objetivo é inspirar novos empreendimentos a serem concebidos e operados sob diferentes perspectivas e modelos de negócio, que possam permitir o avanço da prática de maneira segura dos pontos de vista sanitário-ambiental e regulatório, adaptados a cada contexto.

Para isso, adotamos uma metodologia estruturada que envolveu a **busca** e a **escolha** dos projetos a serem apresentados, a definição das **modalidades** a serem abordadas e um recorte dos principais **aspectos** de análise. O estudo apresenta 10 projetos distribuídos no continente Americano, na Europa, na África e na Ásia, que juntos, perfazem um benchmarking internacional.



Conhecimento e Conexão
Água e Saneamento no Território



Rota Tecnológica
Série com 2 Temporadas (6 episódios)



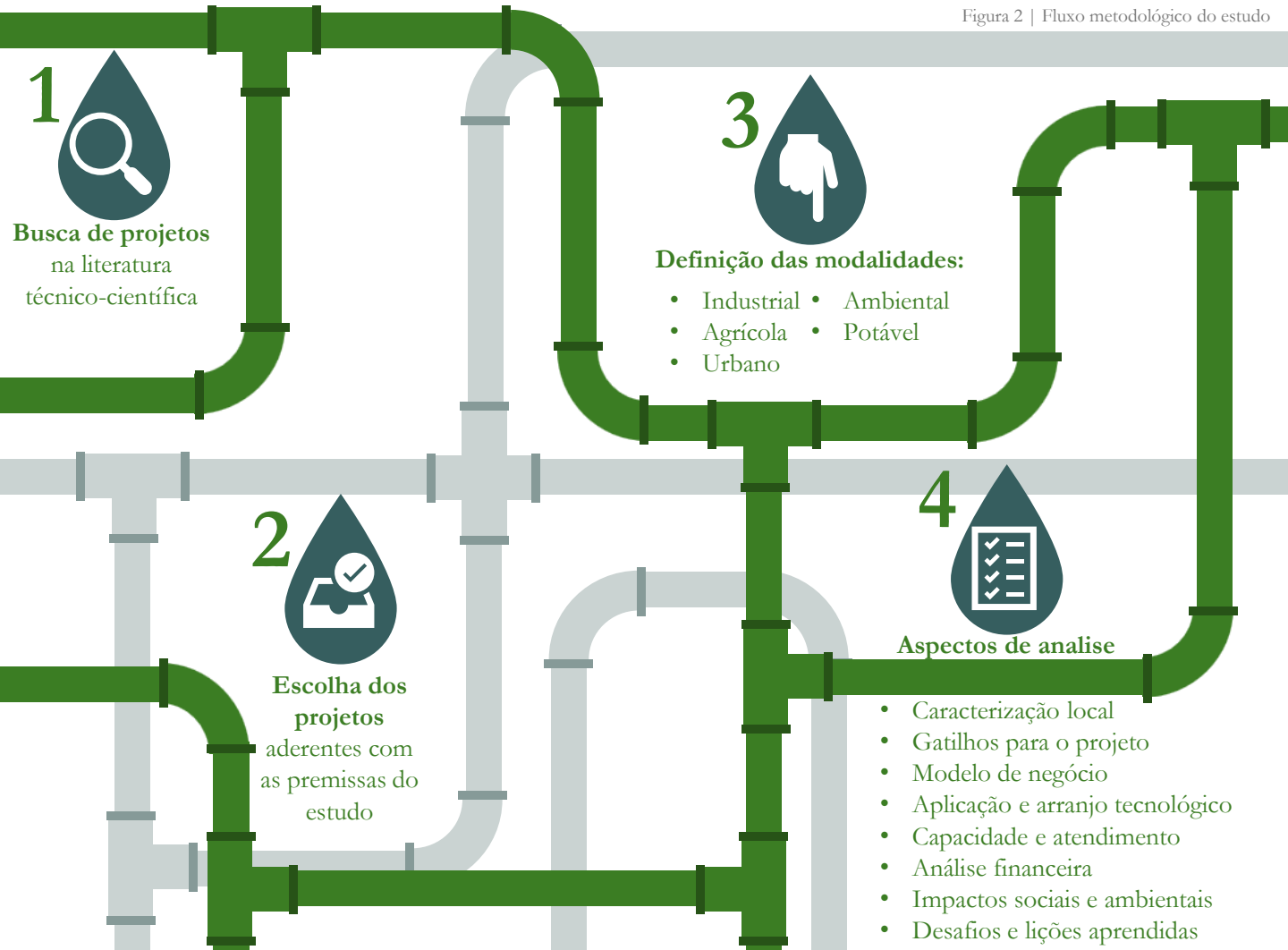
IRdA News
Coletâneas 2024 e 2025

Acesse o site para mais conteúdo
www.reusodeagua.org



Adotamos projetos que, principalmente, demonstram diferentes modelos de negócio, independentemente da localização. A importância de cada um não se dá, necessariamente, por ser conhecido ou por seu porte, mas sim por apresentar alguma particularidade inspiradora. As modalidades de reúso de água abordadas (industrial, agrícola, urbano, ambiental e potável) foram consequência da escolha dos projetos.

Figura 2 | Fluxo metodológico do estudo





CONTEXTUALIZAÇÃO

O reúso de água já é prática comum e institucionalizada em diversas regiões do mundo. O Brasil vem dando passos mais largos nesta direção, mas ainda com projetos isolados e em um contexto de regulamentação frágil e fragmentada.

CONTEXTUALIZAÇÃO

O reúso de água é uma prática institucionalizada em diversas regiões do mundo, com quadro regulatório bem definido e estruturado, há décadas.

Segundo Jones et al. (2021), no mundo, aproximadamente 50% do esgoto gerado é tratado e 11%, reutilizado de maneira planejada. O IRdA elaborou um mapa esquemático (em constante atualização) que apresenta o percentual de reúso de água a partir do esgoto tratado em várias regiões do mundo. Estes dados não somente demonstram a viabilidade de projetos desse tipo como inspiram o avanço da prática como instrumento de gestão eficiente da água.

Sabe-se que de maneira geral, condições hídricas e climáticas mais vulneráveis, especialmente em cenários crônicos como as regiões árias e semiáridas, aceleram a institucionalização do reúso de água. No entanto, o presente estudo demonstra que nem sempre o principal gatilho é a falta de água.

Nos últimos 5 anos, o país tem avançado com novos projetos, como o do Espírito Santo, que produzirá água industrial para a mineração e o do Rio de Janeiro, com o objetivo de acelerar a universalização na baixada fluminense e a produção de efluente tratado para aplicação industrial. Muitos outros projetos de menor porte estão distribuídos no território nacional, em diferentes cenários, para modalidades distintas.

No contexto legal, segundo Angelakis et al. (2018), o estado da Califórnia (EUA) foi a primeira região do mundo a regulamentar a prática, em 1918. Santos et al. (2021) demonstram a evolução da regulamentação do reúso de água a nível mundial em outros países (Israel, Chipre, Espanha, França, Itália, Grécia, Portugal, Tunísia, Namíbia, China, Tunísia, Irã, Arábia Saudita, Coreia do Sul, México e outros) e instituições internacionais (Organização Mundial da Saúde|OMS, Organização Internacional de Padronização|ISO, Agência de Proteção Ambiental Americana|EPA e Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura|FAO).

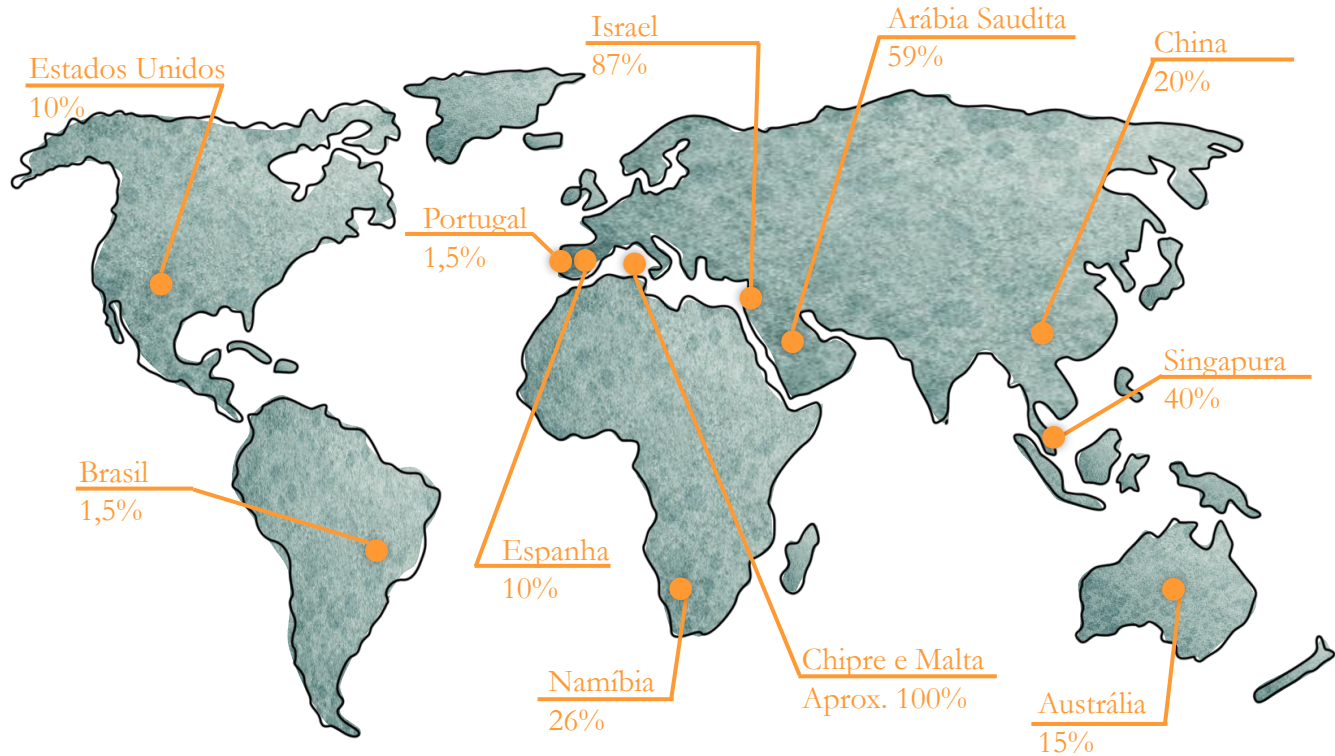


Figura 3 | Percentual de reúso de água a partir do esgoto tratado (Fonte: IRdA, 2026)

No Brasil, estima-se que somente 1,5% do esgoto tratado seja reutilizado (Santos e Vieira, 2020), abrindo grandes oportunidades para a concepção de novos projetos, principalmente no contexto do Novo Marco Legal do Saneamento (Brasil, 2020). O Aquapolo ambiental, em São Paulo, foi voou solo por mais de 10 anos no país, se consolidando como um dos maiores produtores de água industrial do mundo, a partir do reúso de água.

Inicialmente, o caminho da estruturação regulatória avançou no sentido da aplicação agrícola em função do conhecimento histórico do aumento de produtividade a partir da fertirrigação. Atualmente, OMS, EPA, Austrália, Namíbia e 15 estados norte-americanos já definiram diretrizes ou leis para o reúso potável; Namíbia, Oregon, Texas, Washington, Califórnia, Colorado, OMS e EPA, para reúso potável direto (Paixão et al., 2024).

A evolução da regulamentação no mundo ocorreu em função de seguintes aspectos, conforme estudo realizado por Santos et al. (2021):

1. O cenário de crescimento populacional, o aumento da demanda de água, as alterações do clima e a poluição hídrica levaram à necessidade de planejamento para incorporação de fontes alternativas de água nos portfólios hídricos regionais.
2. A estruturação e a institucionalização do reúso de água se deram, inicialmente, nas regiões mais afetadas com a falta crônica de água, como o oeste dos Estados Unidos, os países do Mediterrâneo, o Oriente Médio, a Austrália e o Sudeste Asiático. Cada uma dessas regiões orientou as suas ações em função das suas particularidades regionais e dos seus objetos de planejamento e de desenvolvimento socioeconômico.
3. Os primeiros documentos reguladores de reúso de água no mundo foram estabelecidas com padrões mais flexíveis de qualidade de água. A partir do desenvolvimento do conhecimento científico e do avanço tecnológico, as regiões atualizaram seus documentos legais com padrões mais restritivos.

O relatório “Panorama Regulatório do Reúso de Água”, publicado em 2025, foi desenvolvido no âmbito de um consórcio que envolveu o Instituto Reúso de Água, a GO Associados e o Centro Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). O estudo teve o objetivo de apresentar um entendimento geral sobre a regulamentação de reúso de água no Brasil e uma análise crítica sobre este cenário regulatório no país (CEBDS | IRdA&GO, 2025).

A conclusão é que a regulamentação sobre reúso de água no Brasil ainda é frágil e incipiente, embora alguns passos importantes já tenham sido dados. A principal fragilidade está na falta de um documento legal nacional com orientações e definição de um protocolo de qualidade sanitária-ambiental para as diferentes modalidades de reúso de água. Ainda, o quadro regulatório nacional envolve documentos legais e documentos meramente orientativos, dificultando o entendimento dos envolvidos em cada projeto.

Os documentos que estabelecem exigências legais se apresentam em diferentes naturezas jurídicas e nas distintas esferas administrativas do país: nacional, estadual e municipal. Além disso, nem todos estabelecem padrões de qualidade de água para as diferentes modalidades. Mas vale lembrar que são exatamente os padrões de qualidade de água que definem o grau de segurança da prática, do ponto de vista sanitário e ambiental.

No Governo Federal, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) deu o pontapé inicial com a Resolução CNRH nº 54 de 2005, que definiu modalidades, mas não indicou padrões de qualidade de água. Por outro lado, mais de 15 anos depois, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de quem se pensa ser o dever de definir estes critérios, publicou a Resolução CONAMA nº 503 de 2021, bastante específica, que define critérios e procedimentos somente para o reúso de água em sistemas de fertirrigação com efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

Somente no dia 1 de setembro de 2026 (mais de 20 anos depois da publicação da Resolução CNRH 54/2005) o CNRH e o CONAMA publicaram a resolução conjunta nº 1 que “estabelece modalidades, diretrizes, critérios gerais e parâmetros mínimos de qualidade para a prática de reúso direto não potável de água proveniente de efluente sanitário tratado em estações de tratamento de esgoto de sistemas públicos de esgotamento sanitário”. Embora esta recente publicação seja considerada um avanço, há que se destacar que seus padrões de qualidade de água extremamente restritivos podem limitar o progresso da prática, principalmente nas oito unidades federativas do Brasil (BA, CE, SP, MG, RS, DF, MT e PR) que estabeleceram regulamentação para o reúso de água com a definição de padrões de qualidade de água.

Diante da lacuna regulatória brasileira, o Instituto Reúso de Água, lançou em 2025, as Diretrizes para o Reúso de Água no Brasil (DRAB). O documento tem o objetivo de contribuir para a estruturação de um quadro regulatório que oriente a prática de reúso de água no país, de forma segura do ponto de vista sanitário-ambiental e com base tanto no conhecimento científico atualmente estabelecido, como na experiência prática (Santos et al. 2025).



Acesse o site para mais conteúdo
www.reusodeagua.org



Panorama Regulatório do Reúso de Água



DRAB – Diretrizes para o Reúso de Água no Brasil



Vídeo de lançamento do DRAB

“Embora a estruturação legal nacional ainda seja frágil e fragmentada, observa-se um avanço (lento) no desenvolvimento e na aplicação de projetos de reúso de água pelo país. Um quadro regulatório estruturado poderia impulsionar as ações e garantir o alcance do potencial brasileiro.”

No relatório mencionado (CEBDS | IRdA&GO, 2025), parte do estudo avaliou a relação entre a estruturação do quadro regulatório e o avanço percentual da taxa de reúso de água a partir do esgoto tratado na região. Para esta avaliação, foi realizada uma análise de correlação entre o período de regulamentação aplicada e o índice percentual de reúso de água de vários países, cujas informações são conhecidas.

Tabela 1 | Período de regulamentação e índices de reúso de água em relação ao esgoto tratado + regressão linear (Fonte: CEBDS | IRdA&GO, 2025)

País	Período de regulamentação (anos)	Índice de reúso (%)
China	16	12
Espanha	17	10
Austrália	18	15
Arábia Saudita	24	59
Singapura	24	40
Namíbia	26	26
Estados Unidos	44	10
Israel	72	87
Equação: $y = 1,07x - 0,74$ ($R^2=0,52$)		

O resultado da regressão linear indica que a cada ano adicional de regulamentação bem estruturada, espera-se um aumento médio de aproximadamente 1% (1,07) no índice de reúso de água. Além disso, a correlação entre as variáveis indica que a estruturação regulatória representa, aproximadamente, 50% (0,52) de influência na evolução dos índices de reúso de água, destacando a relevância dessa variável neste contexto.

Embora os resultados demonstrem uma forte influência da regulamentação na progressão da prática, esta é considerada uma variável impulsionadora, mas não única.

Assim, é possível afirmar que a cada ano de regulamentação bem estruturada e implementada a contento, pode-se avançar em torno de 1% no índice de reúso de água (CEBDS | IRdA&GO, 2025). No entanto, os autores ressaltam que a afirmação deve ser realizada com cautela, visto que outras variáveis, além da estruturação legal, também são relevantes, tais como os fatores climatológicos que vêm se agravando e os investimentos que fazem, de fato, os projetos saírem do papel. Estas outras variáveis devem estar atreladas à regulamentação, em um contexto de planejamento, para alcance dos resultados esperados.

É importante salientar que, para além do avanço da institucionalização do reúso de água, o Brasil ainda tem sérias deficiências em relação à prestação de serviços de água e esgoto. Aproximadamente 16% da população ainda não tem acesso à água potável, e 40% não tem esgoto coletado. Ainda, somente metade do esgoto gerado no país é tratado (Brasil, 2025a; Brasil, 2025b).

Neste contexto, nas suas apresentações e debates públicos, o Instituto Reúso de Água vem destacando a ideia de avançar com a universalização do saneamento em concomitância com a institucionalização do reúso de água. Os países desenvolvidos, com seus sistemas de água, esgoto e outros projetos de uso da água concebidos e implantados no final do século passado, têm grandes dificuldades para adaptar suas infraestruturas existentes aos empreendimentos de reúso de água.

“O Brasil tem a oportunidade de se tornar um modelo global, especialmente para os países em desenvolvimento, ao passar a projetar novos sistemas de água e esgoto focados na universalização e no reúso de água, como prática estrutural, em concomitância, quando couber, desde a concepção.”

O Novo Marco Legal do Saneamento, publicado no país em 2020, vem impulsionando os investimentos em saneamento, em várias regiões do país, com a intenção de alcançar a universalização em 2033. A meta é que até lá 99% da população tenha acesso à água potável e 90% à coleta e tratamento de esgoto. Segundo o Instituto Trata Brasil (2026), para alcançar esses objetivos, são estimados investimentos totais próximos a R\$ 430 bilhões em todo o país até o prazo final. A aplicação destes recursos pode não somente impulsionar novas infraestruturas de saneamento, como novos empreendimentos de reúso de água em projetos mais modernos desde a concepção.



DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS CASOS

Apresentação de projetos de reúso de água, sob a ótica dos seguintes aspectos: caracterização local, gatilhos, modelo de negócio, aplicação e arranjo tecnológico, capacidade e custos, impactos sociais e ambientais, desafios e lições aprendidas.

DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS CASOS

Conforme mencionado, muitas regiões do planeta já praticam o reúso de água de forma institucionalizada e regulamentada, desde o século passado, enquanto o Brasil ainda dá passos lentos nessa direção.

A transformação de abordagem da água, contextualizada ao longo do estudo e indicada como essencial para a gestão do novo normal hídrico no Brasil, pode ser impulsionada e bem orientada a partir do conhecimento mais profundo de outros projetos em operação no mundo. A troca de experiências é fundamental para o estabelecimento de novos comportamentos, abordagens e conceitos. Neste contexto, este estudo de benchmarking apresenta novas experiências que podem inspirar novos projetos e apresentar caminhos e soluções para que outros, saiam do papel.

A crise climática, que abrange todo o planeta, impulsiona ações de adaptação, de acordo com características e especificidades locais. Neste contexto, o estudo procurou abordar diferentes casos de reúso de água no mundo, com enfoques distintos, em praticamente todas as modalidades da prática, sob diferentes aspectos.

Os 10 casos analisados estão distribuídos no continente Americano, na Europa, na África e na Ásia, e abordam as modalidades industrial, agrícola, urbano, ambiental e potável, conforme apresentado na tabela abaixo e no mapa do mundo a seguir.

Tabela 2 | Casos abordados no estudo

País	Localidade	Modalidade de reúso
Índia	Surat	Industrial
Índia	Chenai	Industrial
Chile	Antofagasta	Industrial
Espanha	Alicante	Agrícola
Itália	Milão	Agrícola
México	Atotonilco	Agrícola
Espanha	Barcelona	Urbano (e ambiental)*
Singapura	Singapura	Potável Indireto (industrial)**
Estados Unidos	Califórnia	Potável Indireto
Namíbia	Windhoek	Potável Direto

* O caso de Barcelona envolve várias modalidades, inclusive o potável. Para efeito do estudo, enfoque está dado nas aplicações urbana e ambiental.

** O caso de Singapura teve o reúso potável como objetivo inicial. Atualmente, o sistema privilegia o reúso industrial.

Cada caso apresenta dados extraídos de diversas fontes (técnico-científicas), organizados e sistematizados de forma a atender os objetivos do estudo. Todas as fontes estão citadas nas referências do estudo.

A **caracterização local** apresenta dados gerais sobre a região, principalmente aqueles relacionados ao projeto analisado, como dados populacionais, climáticos e instituições envolvidas. Os **gatilhos para o projeto**, são aqueles que orientaram a concepção e a implantação do empreendimento. O **modelo de negócio** demonstra a participação e as responsabilidades de cada instituição envolvida no projeto, além de um fluxograma para facilitar o entendimento. A **aplicação e o arranjo tecnológico** mostram as tecnologias envolvidas na produção da água para reúso e a modalidade adotada. A **capacidade** inclui valores de vazão (m³/s) e atendimento, enquanto a **análise financeira** (USD), os valores monetários envolvidos em CAPEX, OPEX e tarifas. Os **impactos ambientais** destacam as externalidades para além do aspecto hídrico. Os **desafios e lições aprendidas** apresentam erros e acertos para interpretação individual e direcionamento de caminhos para a aplicação.



Figura 4 | Aspectos analisados em cada projeto



Legenda:



Aplicação industrial



Aplicação agrícola



Aplicação urbana



Aplicação ambiental



Aplicação portátil

As cores dos pins de localização foram adotadas para facilitar a visualização e a identificação de cada modalidade de reúso de água apresentada no estudo.

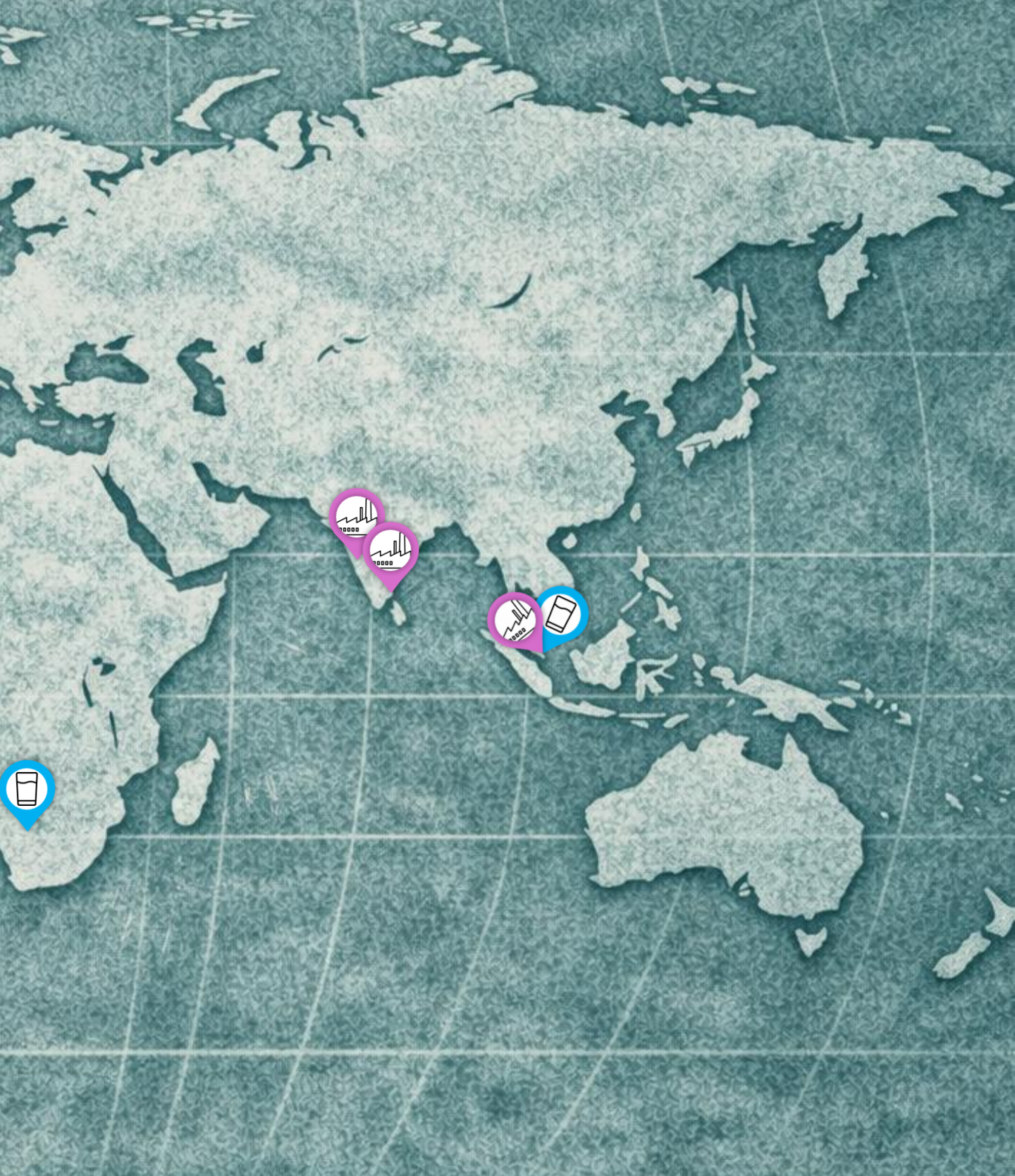
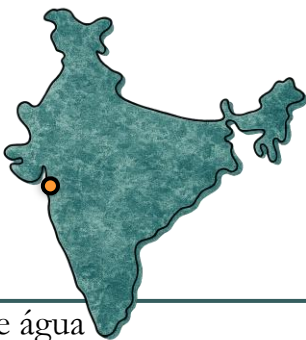


Figura 5 | Mapa de localização dos projetos analisados no estudo



ETE Bamroli

Surat India



Modalidade de reúso de água
Aplicação industrial

Caracterização local

Surat, a 8ª cidade mais populosa da Índia, com 7,3 milhões de habitantes, está localizada no estado de Gujarat, na costa oeste do país. A cidade utiliza mais de 30% do esgoto tratado para aplicações industriais, urbanas e recreativas. O caso descrito envolve o fornecimento de AR produzida pela **Surat Municipal Corporation (SMC)**, na ETE Bamroli, para o **Complexo Industrial Pandesara (CIP)**, com quase 120 indústrias em operação.

Gatilhos para o projeto

- Alto crescimento populacional: 4,4% ao ano registrado na última contagem do país (2011-2021), contra 2,4% referente ao índice nacional.
- Aumento da demanda de água na cidade: em 20 anos passou de 5,5 m³/s (2011) para 16,8 m³/s (2021).
- Elevado consumo de água pelo setor industrial têxtil: mais de 5,2 m³/s de água, atualmente.
- Fontes convencionais de água comprometidas: subterrânea por intrusão salina, e superficial (rio Tapi), pela sazonalidade com secas intensas e duradouras.
- Solicitação de aumento do fornecimento de água pelo CIP: 0,46 m³/s, para além do consumo médio de 0,64 m³/s (2007).

Modelo de negócio

Diante do cenário apresentado, a SMC, empresa pública de água e esgoto do município, decidiu iniciar os projetos de reúso de água em 2014, com capacidade para 0,46 m³/s, com o objetivo de reduzir a dependência das fontes convencionais e diversificar o seu portfólio hídrico.

Inicialmente, seria estabelecido um modelo de PPP, em que uma entidade privada seria responsável por CAPEX e OPEX da unidade de tratamento avançado. A geração de receita a partir da tarifa seria partilhada com a SMC.

No entanto, vislumbrando a possibilidade do ganho de capital a longo prazo, o primeiro empreendimento foi realizado em um único contrato dividido em dois segmentos com a empresa vencedora da licitação (Enviro Control Associates Pvt. Ltd): 1) CAPEX, financiado 100% pelo governo do estado para a construção da unidade de tratamento avançado; 2) OPEX, para a operação do empreendimento em um período de 10 anos.

Atualmente, o CIP paga tarifa à SMC, que por sua vez, paga a O&M da operadora privada, conforme contrato estabelecido entre as partes. Ao final do contrato, a empresa transfere a unidade de tratamento avançado à SMC para continuidade da operação.

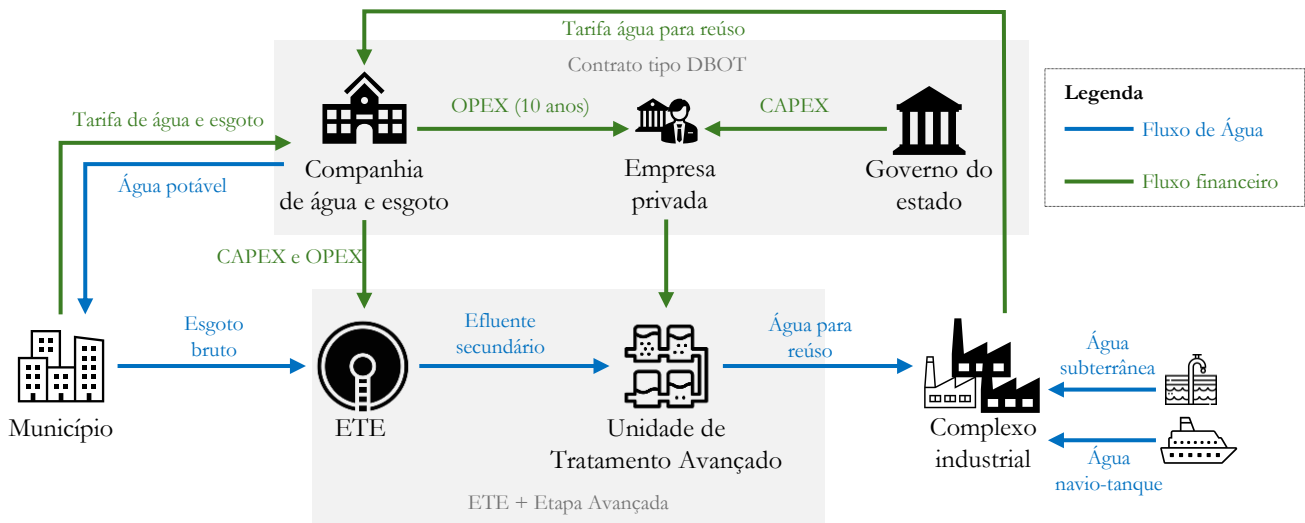


Figura 6 | Fluxograma projeto Surat (Índia)

Aplicação e arranjo tecnológico

- A ETE Bamroli produz efluente secundário a partir do arranjo tecnológico composto por reator UASB seguido de lodo ativado por aeração prolongada.
- A Unidade de Tratamento Avançado é composta por filtro de areia/filtro de discos, seguido por membranas de ultrafiltração, osmose inversa e filtro de carvão ativado.
- A distribuição da AR para as unidades industriais do CIP é de responsabilidade da SMC, por meio de uma rede de tubulações, num raio de 5 km das instalações.

Capacidade e atendimento

O sucesso do modelo de negócio aplicado no primeiro projeto levou à ampliação do sistema, que atualmente opera com uma capacidade de produção de 1,32 m³/s de AR com destino ao CIP:

- 0,46 m³/s na ETE Bamroli (1º projeto)
- 0,40 m³/s na ETE Bamroli (ampliação)
- 0,46 m³/s na ETE Dindoli (novo projeto)

A capacidade total atual de reúso de água da SMC é de 3,24 m³/s: 1,32 m³/s para o CIP + 1,92 m³/s para outras indústrias. O total representa 30% da quantidade de esgoto tratado pela SMC (10,80 m³/s). Em uma articulação bem sucedida entre os poderes públicos estadual e municipal, foi desenvolvida a Política Estadual de Reúso de Água que prevê incentivos e subsídios para indústrias que utilizam AR. Neste sentido, a SMC tem meta de alcançar 100% de reutilização até 2030.

Análise financeira

O valor de CPEX do 1º projeto, com capacidade para 0,46 m³/s (iniciado em 2014), foi de aproximadamente 85 milhões de Rúpias (1,4 milhões USD). No mesmo contrato, o OPEX foi fixado em 80 milhões de Rúpias em 10 anos (1,3 milhões USD).

Em 2014, a tarifa de AR para este projeto era 18,2 Rúpias/m³ (0,29 USD/m³). Neste mesmo período, a tarifa da água potável para uso industrial era 23 Rúpias/m³ (0,38 USD/m³). Em 2020, a tarifa de AR já era de 32 Rúpias/m³ (0,43 USD/m³), superior à tarifa de água potável.

Destaca-se que em 2020, a operação da ETE Bamroli gerou um lucro de 13 milhões de Rúpias (176 mil USD). Na totalidade dos projetos de reúso de água, a SMC gerou receita de 1,4 bilhões de Rúpias (19 milhões USD).

Nota: Índices de conversão de moeda: 1 USD = 62 Rúpias (2014); 1 USD = 74 Rúpias (2020).

Impactos sociais e ambientais

- Redução da pressão sobre a água doce e disponibilização de mais água para o abastecimento.
- Redução da dependência do rio Tapi, comprometido com as secas sazonais mais intensas e duradouras.
- Redução dos impactos de esgotamento das águas subterrâneas.
- Aumento do índice de tratamento de esgotos com o objetivo de produção de AR.
- Garantia de abastecimento ininterrupto para o CIP e outras indústrias, com água de elevada qualidade.
- Sustentabilidade hídrica para o setor industrial da região, com aumento na geração de empregos.
- Maior segurança hídrica geral para a região.

Desafios e lições aprendidas

- O estresse hídrico gerou demanda de AR e permitiu o estabelecimento do mercado.
- A SMC desempenhou um papel fundamental de articulação com os *stakeholders* e formalização de aliança estratégica com associações industriais.
- A fixação, em contrato, de quantidades mínimas de AR para cada indústria foi preponderante para o desenvolvimento do projeto.
- A fixação, em contrato, de tarifa de AR com aumento anual, foi estratégico para o modelo de negócio.
- A SMC mantém a gestão do negócio. Ela é responsável pelo ativo, que é gerido pelo operador privado por tempo limitado (neste caso, 10 anos). Além disso, o pagamento pelo uso da AR é realizado para a SMC, que transfere ao privado o valor contratual.
- Este modelo permitiu à SMC maximizar o benefício monetário e garantir a recuperação completa dos custos do investimento a longo prazo.
- A dependência do financiamento de CAPX pelo governo para o desenvolvimento do tratamento avançado pode limitar a expansão e a replicação do projeto, embora neste caso tenha sido exitoso.
- O estado e o município criaram um ambiente favorável, através de políticas e leis, para incentivar e encorajar o reúso de água.
- A longo prazo, devem ser garantidos mecanismos de incentivo ou redução de tarifas de AR, para garantir a continuidade da demanda.
- A fiscalização permanente do uso inadequado de águas subterrâneas impede o seu uso indiscriminado e impulsiona o mercado do reúso de água.
- A confiabilidade do negócio deve ser garantida pelo monitoramento regular e contínuo da AR, em cada estágio de entrega e recebimento.



Complexo Industrial Tamil Nadu

Chennai India



Modalidade de reúso de água Aplicação industrial

Caracterização local

Chennai é uma cidade com mais de 10 milhões de habitantes, localizada no estado de Tamil Nadu, na costa sul da Índia, cuja região metropolitana é a 4ª mais populosa do país. O caso descreve dois modelos de negócio: 1) entre o **Conselho Metropolitano de Água e Esgoto de Chennai (CMWSSB)** e as seguintes indústrias: **Petroleum Corporation Ltd. (CPCL)**, **Madras Fertilizer Ltd. (MFL)**, **Manali Petrochemicals Ltd. (MPL)**; e 2) entre a **CMWSSB** e a **Corporação de Promoção das Indústrias Estaduais Tamil Nadu (SIPCOT)**. A cidade utiliza mais de 10% do esgoto tratado para aplicações industriais, urbanas e recreativas.

Gatilhos para o projeto

- Seca: a região sofre com episódios crônicos.
- Aumento populacional: 50% nos últimos 20 anos.
- Redução do fornecimento de água: em 2019, foi necessário reduzir o abastecimento de 9,6 m³/s para 6,1 m³/s, enquanto a demanda real é de 13,9 m³/s.
- *Day Zero*: 19/06/2019 quando os quatro principais reservatórios de água da cidade praticamente secaram.

Modelo de negócio

A CMWSSB opera dois modelos de negócio de comercialização de AR.

1. O primeiro modelo, motivado pela demanda da CPCL, que em 2005 parou a planta por 35 dias por falta de água, envolve a venda direta de efluente secundário da ETE, operada pela CMWSSB, para a CPCL (0,35 m³/s). Em 2019, foi ampliado para a MFL (0,11 m³/s) e para a MPL (0,02 m³/s).
2. Diante do potencial, a CMWSSB conduziu um estudo de avaliação de demanda, que levou ao segundo modelo de negócio, com capacidade para 1,04 m³/s, dividida igualmente em dois consumidores.

No primeiro modelo, a CMWSSB investiu no transporte; as indústrias investiram no tratamento avançado e pagam por uma tarifa fixa pelo efluente secundário.

O segundo modelo é similar ao estabelecido pela SMC, em Surat, mencionado anteriormente, porém com prazo de operação de 15 anos. Neste caso, há duas unidades de distribuição, em contrato com o SIPCOT: 1) Koyambedu, na parte ocidental, cujo operador privado é o consórcio Wabag-IDE; 2) Kodaigurnur, na parte norte, cujo operador privado é a BGR Energy System.

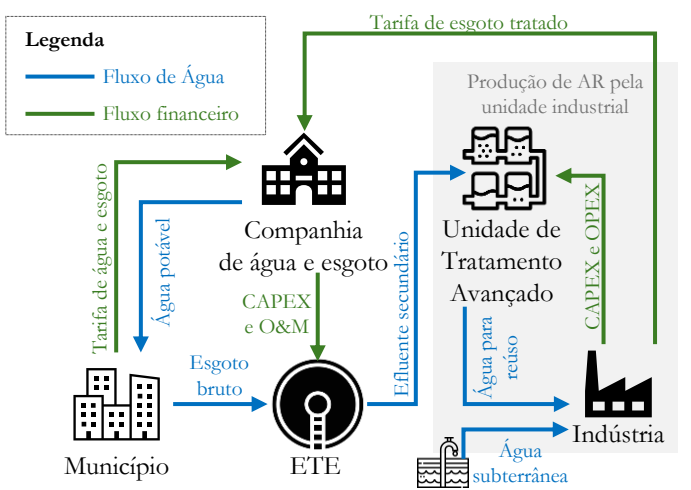


Figura 7 | Fluxograma projeto (1º Modelo) Chennai (Índia)

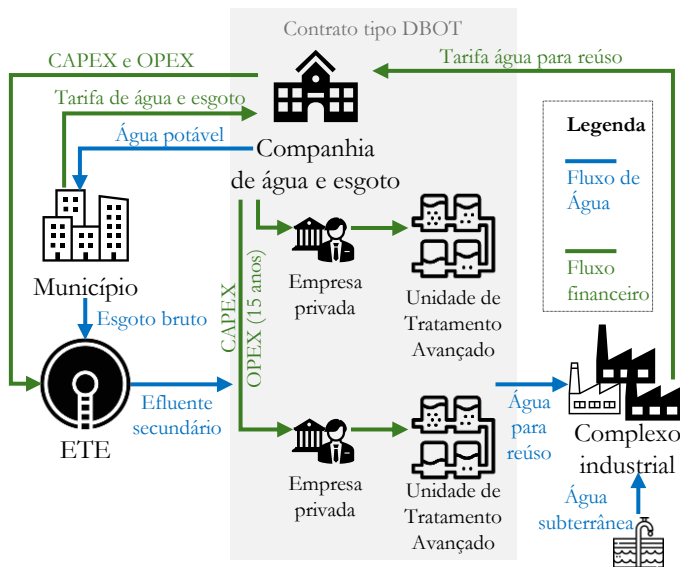


Figura 8 | Fluxograma projeto (2º Modelo) Chennai (Índia)

Aplicação e arranjo tecnológico

Nas ETEs convencionais, o tratamento é realizado por uma sequência de pré-cloração, filtro rápido de areia por gravidade, filtro de cesta e ultrafiltração. Nas unidades avançadas (nos dois modelos) o arranjo tecnológico envolve filtro de cartucho, osmose inversa e ozonização.

A distribuição da AR para as unidades industriais nos dois modelos é de responsabilidade da CMWSSB. No segundo modelo, as distâncias são de 60 km e 28 km, para as regiões de Koyambedu e Kodaigurnur, respectivamente.

Capacidade e atendimento

Atualmente, a CMWSSB tem uma capacidade instalada de 1,52 m³/s, dividida da seguinte forma:

- **1º modelo:** 0,48 m³/s de efluente secundário para três indústrias petroquímicas que arcam com o tratamento avançado e pagam pela tarifa de efluente secundário.
- **2º modelo:** 1,04 m³/s de AR para aplicação industrial, em contrato com operadora privada por 15 anos. A empresa pública é responsável pela entrega da AR ao polo industrial (em duas regiões), mediante tarifa.

O governo do estado de Tamil Nadu está em linha com o governo federal que recomenda a reutilização de pelo menos 20% do esgoto tratado a todas as cidades em situação hídrica crítica. Como forma de encorajar a reutilização, a CMWSSB aumentou a tarifa de água potável para o setor industrial.

Análise Financeira

1º Modelo (iniciado em 2005): CAPEX (760 milhões de Rúpias = 18,5 milhões USD) e OPEX (378 milhões de Rúpias/ano = 9,3 milhões USD/ano) da unidade de tratamento avançado (0,35 m³/s) são de responsabilidade da CPCL. O OPEX inclui a compra do efluente secundário, no valor de 20,25 Rúpias/m³ (0,49 USD/m³), com aumento contratual de 1,5% ao ano. O custo de transporte é suportado pela CMWSSB. A recuperação total do investimento se deu em 6,4 anos.

2º Modelo (iniciado em 2015 a 2019): duas plantas de 0,52 m³/s, ambas em contrato tipo DBOT com 15 anos de operação. O valor total de OPEX, considerando as duas plantas, é de 972 milhões de Rúpias/ano (15,65 milhões USD/ano).

- Koyambedu: CAPEX = 3,94 bilhões de rúpias (63,54 milhões USD), financiados por programas específicos dos governos federal e estadual.
- Kodaigurnur: CAPEX = 2,55 bilhões de rúpias (41,13 milhões USD), financiados pelo Banco Mundial.

- A tarifa de AR da CMWSSB é de 130 Rúpias/m³ = 2,1 USD/m³ com 1,5% de aumento por ano.

O comércio de AR produzida na totalidade dos projetos de reúso de água, vem gerando à CMWSSB, uma receita de 82 milhões de Rúpias/mês (1,2 milhões USD/mês).

Nota: Índices de conversões de moeda: 1 USD = 41 Rúpias (2005); USD = 62 Rúpias (2015); USD = 74 Rúpias (2020).

Impactos sociais e ambientais

- Redução da pressão sobre a água doce e disponibilização de mais água para o abastecimento doméstico.
- Experiência da grande seca de 2019 como impulsionador para adaptação aos extremos climáticos.
- Aumento do índice de tratamento de esgotos (7,0 m³/s até 2030) com o objetivo de produção de AR (expectativa de alcançar 50% em 2030).
- Garantia de abastecimento ininterrupto de água de elevada qualidade para as indústrias beneficiadas.
- Sustentabilidade hídrica para o setor industrial da região, com aumento na geração de empregos.

Desafios e lições aprendidas

- O estresse hídrico gerou demanda de AR e permitiu o estabelecimento do mercado.
- No 1º modelo, as indústrias podem não estar dispostas a investir na unidade de tratamento avançado.
- No 2º modelo, a dependência do financiamento de CAPX pelo governo para o desenvolvimento do tratamento avançado pode limitar a expansão e a replicação do projeto.
- O preço da tarifa de AR pode ser limitante para indústrias de pequeno porte.
- Os elevados custos de CPAEX e de OPEX podem desencorajar a recuperação do investimento, embora neste caso o resultado tenha sido positivo.
- A política estadual de reúso de água, em consonância com a política federal, exige a aplicação do reúso de água no setor industrial e tarifa de água potável superior à tarifa de AR.
- Há um equilíbrio entre a perda de receita com a distribuição de água potável e o ganho de receita com a venda de AR para a indústria.
- Monitoramento periódico e transparência têm implicação na aceitação em ambos os modelos.



ETE Salar del Carmen (maquete digital)

Antofagasta Chile

Modalidade de reúso de água
Aplicação industrial



Caracterização local

A área metropolitana de Antofagasta, localizada nas margens do Oceano Pacífico e inserida no limite do Deserto do Atacama, possui uma população de mais de 400 mil habitantes. A escassez hídrica natural crônica dessa região árida é fruto de águas superficiais doces e pluviosidade consideradas praticamente nulas.

O caso descreve uma continuidade de duas fases de um modelo de negócio para abastecimento industrial: 1) entre a **Econssa (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.)** e a **Sembcorp** (concessionária privada), que operou em um modelo PPP, de 1994 a 2024; 2) entre a **Econssa** e a **Sacyr Agua** no projeto da nova planta (em construção) com horizonte de concessão por 35 anos.

Atualmente, a cidade coleta e trata praticamente 100% do esgoto da região e abastece 100% da população com água do mar dessalinizada. Do total de esgoto tratado, 90% passa por etapa primária para descarte no mar; 10% passa por etapa secundária e desinfecção para reúso industrial. A nova ETE pretende tratar, a nível avançado, todo o efluente primário da atual, com o objetivo de recuperar 100% do esgoto da região.

Gatilhos para o projeto

- Adaptar à vulnerabilidade hídrica histórica.
- Reduzir o lançamento de efluente no mar e melhorar a sua qualidade geral.
- Necessidade de diversificar a matriz hídrica, atualmente dependente da água do mar dessalinizada e da água subterrânea proveniente das cordilheiras.
- Evitar conflitos entre a sociedade e o setor industrial pelo direito de uso da água.
- Oferecer alternativa mais econômica à dessalinização.

Modelo de negócio

A 1ª fase é uma PPP em formato BOT (CPAEX público e OPEX privado). Parte do efluente da ETE Antofagasta é direcionado para a zona industrial La Negra. A 2ª fase também é uma PPP em formato BOT (100% privado). A ETE Salar del Carmem (em construção) receberá todo o efluente primário da ETE Antofagasta para tratamento avançado e reúso industrial destinado tanto à zona La Negra como à zona Mantos Blancos. Em ambos os casos, conta-se com tarifa paga diretamente ao operador privado e a etapa secundária da primeira será desativada.

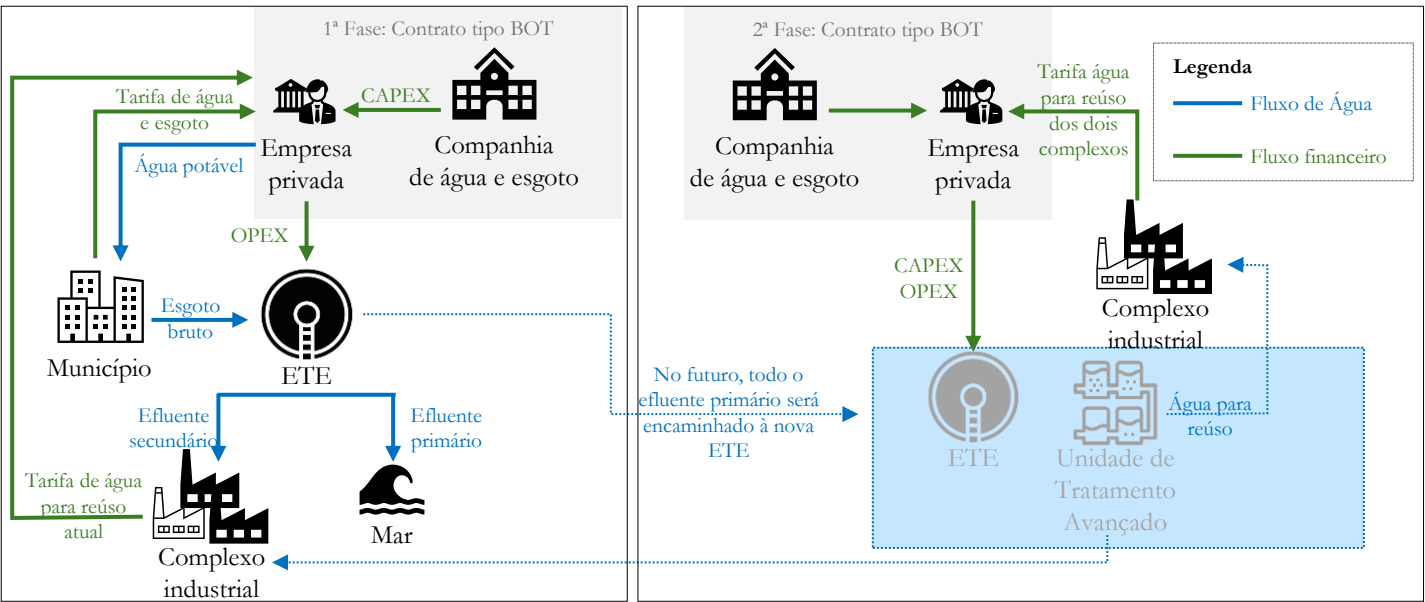


Figura 9 | Fluxograma projeto Antofagasta (Chile)

Aplicação e arranjo tecnológico

1ª fase: ETE Antofagasta composta por etapa primária (decantação primária), secundária (lodo ativado) e desinfecção (cloração). Do total de esgoto tratado, 90% passa por etapa primária para descarte no mar; 10% passa por etapa secundária e desinfecção para reúso industrial no setor de mineração.

2ª fase: ETE Salar del Carmen (em construção) composta por reator biológico com membranas de ultrafiltração, seguido por osmose inversa. A ETE será responsável pelo polimento e tratamento avançado do efluente primário da ETE Antofagasta. O transporte do efluente primário entre as estações será realizado por tubulação com 16 km de extensão.

Capacidade e atendimento

A capacidade total do empreendimento atende mais de 400 mil habitantes, considerando duas ETEs em série. A primeira (ETE Antofagasta), em operação, tem capacidade para 0,9 m³/s. A segunda (ETE Salar del Carmen), em construção, também com capacidade para 0,9 m³/s, será responsável pela continuidade do tratamento em nível avançado.

Esta configuração fará de Antofagasta a primeira cidade do mundo com mais de 400.000 habitantes a atingir o conceito de “descarte zero” na sua baía, integrando em simultâneo o abastecimento por água do mar dessalinizada e a reciclagem total do efluente urbano para a indústria do setor de mineração.

Análise Financeira

A 1ª fase do projeto, com investimento 100% público, marcou a construção da ETE Antofagasta, em 1968, com um CAPEX de 45,32 milhões USD. Os dados de OPEX da operação privada são confidenciais e não foram divulgados. Por outro lado, a tarifa de AR praticada na zona industrial de La Negra varia entre 1,2 e 1,8 USD/m³. Esta variação depende do volume total contratado e da distância de bombeamento.

A 2ª fase tem um CAPEX total de 460 milhões USD, incorporando os custos operacionais indexados e a rede de distribuição que envolve 16 km de duto entre as ETEs e 48 km de distribuição: 24 km para a zona de La Negra e 24 km para Mantos Blancos.

Destaca-se que a tarifa de AR é similar à de água potável (1,6 USD/m³) e inferior à da água dessalinizada (2,0 USD/m³). O uso da água subterrânea (0,6 USD/m³) tem sido restringido. Todo este cenário incentiva o uso da AR.

Impactos sociais e ambientais

- Diversificação da matriz hídrica e independência industrial, com garantia de abastecimento ininterrupto para as zonas industriais beneficiadas.
- A independência industrial permite maior segurança hídrica para a população, avanço no desenvolvimento socioeconômico e geração direta de empregos.
- Redução do consumo das águas subterrâneas.
- Melhoria da qualidade da água do mar e proteção do oceano.
- Oportunidade para a região de se tornar um símbolo de sustentabilidade hídrica e divulgar a sua experiência para outras regiões do mundo.

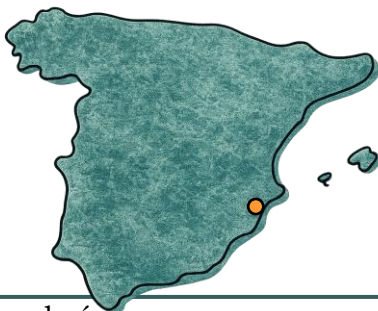
Desafios e lições aprendidas

- Um ponto de destaque do projeto é a necessidade absoluta de diversificar a matriz hídrica da região, fortemente dependente da água dessalinizada e da água subterrânea. Embora a tarifa da AR ainda seja quase três vezes superior à da água subterrânea, seu uso tem sido restringido e o uso da AR tem sido incentivado.
- A iniciativa público-privada facilitou a comunicação com os beneficiários por meio da divulgação técnica dos projetos e estabeleceu os benefícios tipicamente associados ao envolvimento do setor privado nesse tipo de empreendimento, como por exemplo, as seguranças financeira e administrativa.
- A experiência demonstrou um interesse crescente do setor industrial pela AR, principalmente em função da confiabilidade no abastecimento.
- Este interesse, levou ao avanço da segunda fase, com um montante de investimento bastante superior ao da primeira fase.
- Em regiões como Antofagasta, com um portfólio hídrico tão dependente da dessalinização e da água subterrânea, em situação de extrema escassez de água doce superficial, a institucionalização do reúso de água pode ser uma política de Estado.
- Na falta de uma política de Estados para este fim e de um quadro regulatório estruturado, as empresas privadas podem adotar o reúso de água como um investimento com elevado potencial de retorno.
- É fundamental manter mecanismos de controle da qualidade dos efluentes para garantir a conformidade com as normas vigentes.
- Um projeto de reúso de água institucionalizado e transversal à gestão hídrica local incentiva o desenvolvimento e a estruturação do quadro regulatório.



ETE Rincón de León

Alicante Espanha



Modalidade de reuso de água
Aplicação agrícola

Caracterização local

Alicante é uma cidade portuária situada na Costa Blanca, no sudeste da Espanha. Com quase 800 mil habitantes, incluindo a sua região metropolitana, é considerada a segunda cidade mais populosa da Comunidade Valenciana. O caso descrito envolve o fornecimento de AR produzida pela **Aguas Municipalizadas de Alicante, E.M (AMAEM)**, na ETE Rincón de León, para duas associações de irrigação: **1) Associação de Irrigação de Alicante (AGRICOOOP)**, e **2) Associação de Irrigação de Alto Vinalopó (ARALVI)**. A cidade utiliza mais de 40% do esgoto tratado para fins urbanos, agrícolas e recreativos.

Gatilhos para o projeto

- Escassez de água: rápido desenvolvimento urbano e industrial, além de intensa atividade turística no verão.
- Regime pluvial variável e reduzido: precipitação média anual entre 230 e 900 mm.
- Fontes convencionais de água comprometidas: uma das regiões com as maiores taxas de superexploração de águas subterrâneas do mundo.

Modelo de negócio

Diante dos desafios hídricos enfrentados pela região, a Prefeitura de Alicante vem promovendo o reuso de água desde 2006, a partir do financiamento e implementação do tratamento terciário na ETE Rincón de León. A planta é operada pela AMAEM (50% operador privado + 50% Prefeitura) para posterior distribuição de AR às associações de irrigação. A AGRICOOOP utiliza AR para irrigar 1.104 hectares por gotejamento (amêndoas, tomates, frutas cítricas, romãs e azeitonas) e um campo de golfe. A ARALVI irriga 2.040 hectares (amêndoas, uvas, nectarinas, laranjas e azeitonas) e um campo de golfe.

Os custos das etapas primária e secundária da ETE são repassados aos usuários dos sistemas de água e esgoto, por meio de tarifas, em um modelo convencional. Por outro lado, a operação da etapa terciária e a distribuição da AR até os reservatório centrais de irrigação agrícola são cobrados das associações de irrigação envolvidas no empreendimento. A distribuição dos reservatórios à cada área irrigada, é de responsabilidade dos agricultores. O sistema de distribuição até os reservatórios é realizado por meio de rede dupla, de acordo com a qualidade da água demandada.

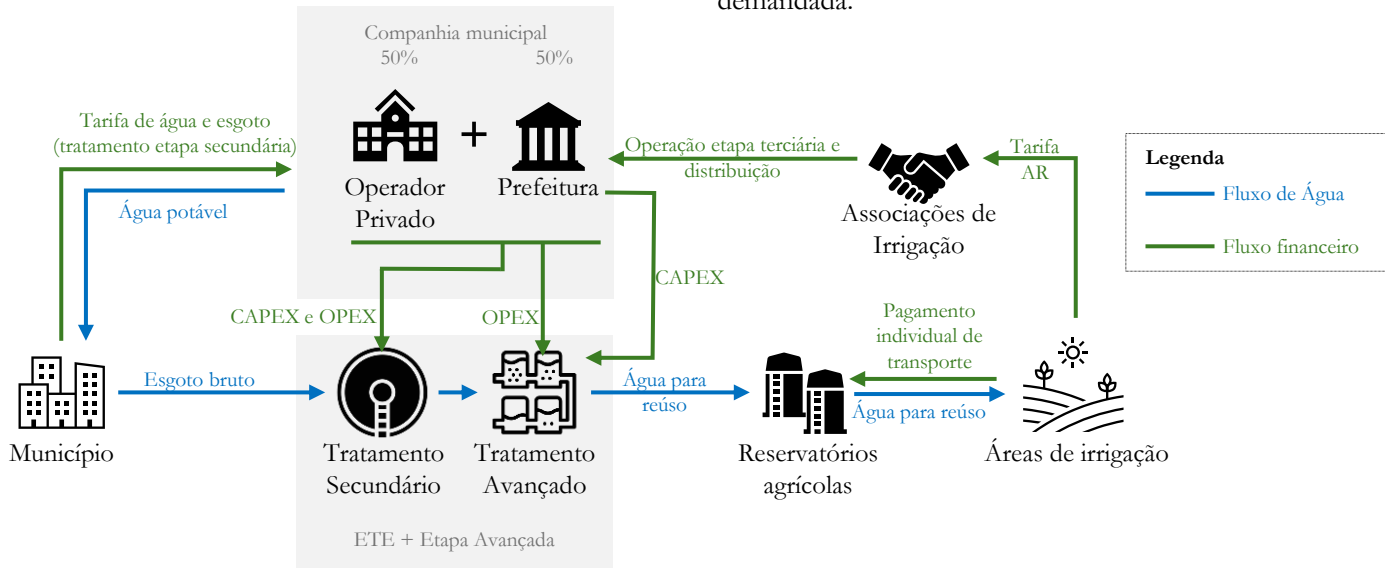


Figura 10 | Fluxograma projeto Alicante (Espanha)

Aplicação e arranjo tecnológico

A etapa secundária da ETE Rincón de León é do tipo lodo ativado convencional. A etapa avançada produz três tipos de água com diferentes qualidades, a partir do efluente secundário:

1. Água CFF-UV: coagulação-floculação-filtração de areia + UV
2. Água UF: Água CFF-UV + ultrafiltração
3. Água OI: Água UF + osmose inversa

Capacidade e atendimento

A Água CFF-UV não é usada para agricultura, somente a Água UF (0,55 m³/s) e a Água OI (0,29 m³/s). Ambas são direcionadas ao reúso agrícola, para diferentes culturas, a preços distintos, distribuídas por rede dupla.

A Água UF apresenta qualidade agrícola com Turbidez < 0,50 NTU, E. Coli < 50 UFC/100 mL e Condutividade < 2500 µS/s. Por outro lado, a Água OI apresenta qualidade agrícola com Turbidez < 0,25 NTU, E. Coli = 0 e Condutividade < 70 µS/s.

As associações de irrigantes detêm concessões de cotas anuais de AR outorgadas pelas autoridades de bacia hidrográfica. A AGRICOOP recebe 5 milhões de m³/ano, e a ARALVI, 6,7 milhões de m³/ano. Cerca de 30% dessas demandas hídricas são supridas com água proveniente de osmose inversa.

Análise financeira

O valor de CPEX da etapa avançada da ETE Rincón de León (ano 2013) foi de 4,8 milhões de euros (6,4 milhões USD) para a unidade CFF-UV e 15,7 milhões de euros para a unidade UF (20,9 milhões USD). Não foi mencionado o valor de CAPEX para a unidade OI.

O valor de OPEX para o arranjo CFF-UV foi de 0,021 EUR/m³ (0,028 USD/m³); para o arranjo UF foi de 0,033 EUR/m³ (0,044 USD/m³); e para o arranjo OI foi de 0,209 EUR/m³ (0,278 USD/m³). Considerando a capacidade operacional de cada arranjo, o OPEX foi de aproximadamente 763 mil USD/ano para a unidade de UF e 1,9 milhões USD/ano para a unidade de OI.

As tarifas de contrato (ano 2013) para a AGRICOOP foram de 0,23 EUR/m³ (0,31 USD/m³) para a Água UF e 0,28 EUR/m³ (0,37 USD/m³) para Água OI. Para a ALARVI os valores foram 0,12 EUR/m³ (0,16 USD/m³) e 0,36 EUR/m³ (0,48 USD/m³), respectivamente.

O contrato ainda definiu atualização das tarifas de acordo com o índice de preços ao consumidor com o objetivo de manter a contas em equilíbrio.

Nota: Índices de conversão de moeda: 1 Euro = 1,33 USD (2013).

Impactos sociais e ambientais

- O reúso de água tratada diversifica as fontes de abastecimento disponíveis a custos adicionais relativamente baixos e mitiga a pressão sobre recursos hídricos de água doce superexplorados.
- O modelo de negócios é economicamente eficiente e capaz de cobrir seus custos, uma vez que o efluente tratado pode ser produzido de acordo com as exigências dos usuários finais, implicando custos de produção e distribuição diferenciados.
- Os valores cobrados de associações de irrigação e agricultores são acessíveis, mesmo que superiores aos praticados para águas superficiais ou subterrâneas destinadas à agricultura.
- A escassez de águas superficiais e subterrâneas na região torna o reúso de água tratada uma opção viável e aceitável para os usuários finais.
- A separação das redes de distribuição de AR de diferentes qualidades permite a adaptação às necessidades dos usuários finais especialmente para culturas sensíveis à salinidade.
- No caso do reúso agrícola, as associações de irrigação permitem mais flexibilidade e confiança entre as instituições envolvidas.

Desafios e lições aprendidas

- A escalabilidade do modelo de negócios existente em Alicante é, de certa forma, comprometida pela sazonalidade da demanda dos usuários finais.
- As demandas são comunicadas com pouca antecedência, sem planejamento alinhado às necessidades de irrigação de longo prazo.
- Necessidade de ampliação da infraestrutura de armazenamento de água para garantir a operação contínua da etapa avançada da ETE.
- Interrupções e reinícios frequentes da operação tornam o processo de tratamento desnecessariamente oneroso (por exemplo, provocam danos às membranas e exigem maior quantidade de reagentes de limpeza).
- Boa replicabilidade desse modelo de negócio em regiões com estresse hídrico e alta demanda agrícola de água para culturas sensíveis à salinidade (como amêndoas e frutas cítricas), onde não existem fontes alternativas de irrigação.



Milão
Itália



Modalidade de reúso de água

Aplicação agrícola

ETE San Rocco

Caracterização local

Milão é uma cidade italiana situada em uma das regiões mais férteis e mais ricas em recursos hídrico do país. Sua população urbana ronda 1,4 milhões de habitantes, mas sua região metropolitana, a 5ª maior da união europeia, concentra quase 7,5 milhões de habitantes. A região reutiliza mais de 35% dos esgotos tratados, no maior esquema da Europa para irrigação agrícola, valorização ambiental e restauração de corpos hídricos.

O caso descrito envolve o fornecimento de AR proveniente das **ETEs San Rocco e Nosedo**, operadas pela **MM S.p.A.**, para aplicação agrícola. Na época dos projetos, as unidades eram operadas por um controlador privado. Atualmente, a empresa unificou todo o ciclo da água sob controle e gestão inteiramente públicos.

Gatilhos para o projeto

Diferentemente da maioria dos projetos de reúso de água, o principal gatilho não foi a vulnerabilidade hídrica ou aumento da demanda e sim, um contexto histórico.

Na Idade Média, foi construída uma rede de canais de irrigação, que também coletavam águas residuais para descarte no Mar Adriático. Em 1991, foi estabelecida a Diretiva Europeia de Águas Residuais Urbanas, com a obrigatoriedade de tratamento dos esgotos das cidades. A partir daí, a Prefeitura de Milão iniciou um programa para tratar e reutilizar suas águas residuais urbanas. Assim, as ETEs San Rocco e Nosedo foram concebidas e implantadas (2004 e 2003) com a intenção de reutilização.

Modelo de negócio

Inicialmente é importante ressaltar que a região de Milão não está inserida em área de escassez hídrica, conforme mencionado. O modelo de negócio não conta com acordos contratuais com os agricultores e a distribuição da AR é gratuita a partir de canais de irrigação.

Para a distribuição, há dois consórcios que supervisionam o fornecimento da AR e controlam a alocação e o uso da água pelos agricultores. No caso da ETE San Rocco, atua o Consórcio *di Bonifica Est Ticino-Villoresi*; na ETE Nosedo, o Consórcio *Vettabbia*.

Embora não haja pagamento de tarifa para o uso da AR, existe um acordo de responsabilidade de custos. No caso da ETE San Rocco, os agricultores arcam com os custos de bombeamento da AR até o canal principal (1,3 km), no valor de cerca de 27 mil Euros/ano (29,16 mil USD/ano). Na ETE Nosedo, há o pagamento de um valor simbólico de cerca de 2 mil Euros/ano (2,16 mil USD/ano).

Ambas as estações são localizadas em regiões mais afastadas dos centros urbanos e mais próximas das áreas de agricultura. Assim, o efluente secundário desinfetado das ETEs é encaminhado para os canais principais de irrigação por bombeamento. Posteriormente, por gravidade, a água é distribuída para os demais canais e valas existentes até às áreas agrícolas. Esta rede de distribuição é extensa, superior a 300 km no total.

A ETE San Rocco fornece AR para irrigação de 24.630 ha, enquanto a ETE Nosedo fornece para 3.700 ha. Ambas as áreas cultivam milho e arroz, além de pastagem.

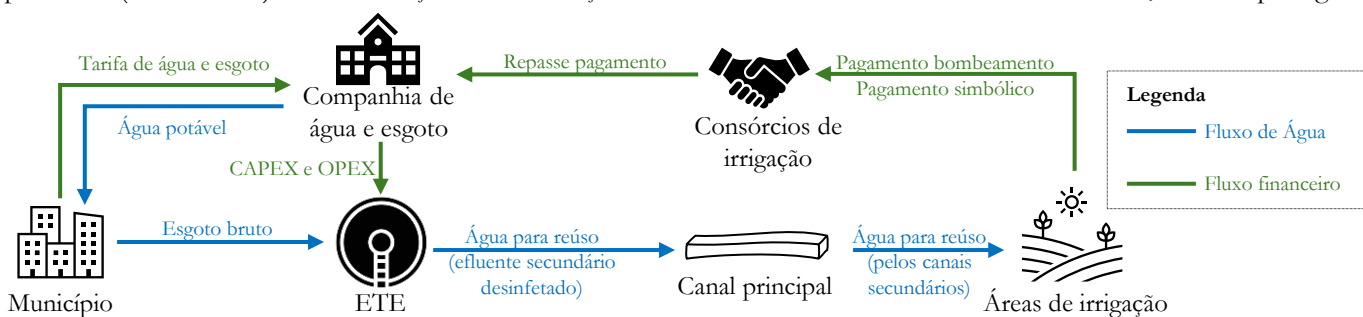


Figura 11 | Fluxograma projeto Milão (Itália)

Aplicação e arranjo tecnológico

A ETE San Rocco iniciou sua operação em 2004 e a ETE Nosedo, em 2003. O arranjo tecnológico de ambas é similar, com etapa secundária e desinfecção. Nos dois casos, a etapa secundária é realizada por lodo ativado com nitrificação e desnitrificação e a desinfecção é em duplo estágio, com o primeiro por filtração de areia e o segundo por radiação UV na ETE San Rocco e por processo oxidativo avançado (ácido paracético) na ETE Nosedo.

Capacidade e atendimento

A ETE San Rocco tem capacidade de tratamento para até 4,05 m³/s, enquanto a ETE Nosedo tem capacidade de tratamento de até 4,98 m³/s.

A demanda média anual de AR é de 1.000 m³/ha para o Consórcio *Vettabbia* (ETE Nosedo) e de 5.000 m³/ha para o Consórcio *di Bonifica Est Ticino-Villoresi* (ETE San Rocco), dada a sua extensa área de produção de arroz.

Neste sentido, o fornecimento médio de AR para os agricultores beneficiados pela ETE San Rocco é de aproximadamente 3,91 m³/s. No caso da ETE Nosedo, o valor é de aproximadamente 0,12 m³/s.

Em ambos os casos, o efluente desinfetado apresenta densidade de E. Coli inferior a 10 UFC/100 mL, em 80% das amostras, caracterizando uma AR para irrigação agrícola irrestrita.

Análise financeira

Para a ETE San Rocco, o CAPEX (ano 2004) foi de 136 milhões de euros (168 milhões USD) e o valor de OPEX foi fixado em 0,115 EUR/m³ (0,143 USD/m³).

No caso da ETE Nosedo, o CAPEX (ano 2003) foi de 150 milhões de euros (170 milhões USD) e o valor de OPEX foi fixado em 0,139 EUR/m³ (0,157 USD/m³).

Considerando a capacidade operacional de cada ETE, o OPEX da ETE San Rocco foi de aproximadamente 18,3 milhões USD/ano e da ETE Nosedo foi de 24,7 milhões USD/ano.

A tarifa de água e esgoto cobrada em Milão (residências e indústrias) cobre os custos de CAPEX e OPEX das ETES San Rocco e Nosedo, que produzem AR como efluente secundário desinfetado.

Os agricultores pagam valores simbólicos pelo fornecimento (ETE Nosedo) e pelo bombeamento da AR para os canais principais de irrigação (ETE San Rocco).

Nota: Índices de conversão de moeda: 1 Euro = 1,13 USD (2003) e 1,24 USD (2004).

Impactos sociais e ambientais

- Melhoria ambiental de corpos hídricos superficiais e da biodiversidade.
- Incremento da produção agrícola e melhoria da permeabilidade do solo.
- Ampliação das oportunidades de emprego nas áreas agrícolas beneficiadas pelos esquemas de reúso de água.
- Valorização do patrimônio histórico e cultural referente aos canais medievais de irrigação.
- Promoção da consciência ambiental por meio de visitas guiadas às ETES.
- O modelo de negócio é economicamente eficiente, uma vez que a operação das ETES é custeada pelas tarifas convencionais de serviço de água e esgoto.

Desafios e lições aprendidas

- A escalabilidade do modelo de negócio dos esquemas de reúso agrícola em Milão é limitada. Durante os períodos de irrigação, a demanda é superior à capacidade, em função da obrigatoriedade de respeitar as vazões mínimas dos rios com o descarte dos efluentes.
- Elevada replicabilidade deste modelo em regiões com o desafio de redução da poluição e onde o tratamento de águas residuais opera com altos níveis de recuperação de custos.
- Este modelo de negócio abre oportunidade para a implementação de novas estruturas de tratamento de esgoto para o mesmo fim. Neste sentido, deve-se considerar também, o objetivo de redução da poluição hídrica a partir do descarte de parte do efluente secundário desinfetado para manutenção das vazões mínimas dos rios.
- Um possível obstáculo são os elevados custos de investimento inicial em unidades de desinfecção para o atendimento de padrões rigorosos de reúso de água.
- Necessidade de implantação e operação de estruturas de armazenamento da AR para garantir distribuição nos períodos de irrigação.
- O quadro regulatório bem estruturado, assim como a articulação entre os envolvidos foi fundamental para o sucesso do projeto ao longo de mais de 20 anos em operação.



ETE Atotonilco

Atotonilco México



Modalidade de reúso de água
Aplicação agrícola

Caracterização local

Atotonilco de Tula, é uma cidade situada na fronteira entre a Zona Metropolitana do Vale do México (ZMVM) e o Vale do Mezquital (VM). A ZMVM, que envolve a Cidade do México, é um dos maiores e mais densos centros urbanos do mundo, com população atual de aproximadamente 23 milhões de habitantes. Por outro lado, o VM é uma área árida/semiárida, de predominância agrícola. Dos quase 7 mil km² de área, 35% a 45% são ocupados por agricultura (220 hectares) e destes, 97 mil hectares são área de regadio.

Até o ano de 2017, o esgoto de praticamente toda a população da ZMVM era descartado *in natura* nos rios e canais de irrigação que abastecem o VM. Neste contexto, o VM era considerado a maior área da América Latina a utilizar águas residuais não tratadas para fins agrícolas. Aproximadamente 65.000 agricultores da região irrigavam suas culturas com águas residuais contaminadas. Somente em 2017, a ETE Atotonilco entrou em operação para fornecer AR para aplicação agrícola na região.

Este cenário atual é fruto de uma parceria público-privada, iniciada em 2009, entre o Governo do México, por meio do **Conagua** (órgão regulador de água e saneamento do país) e o **Consórcio de Águas Tratadas do Vale do México – ATVM**, para construção, operação e manutenção da **ETE Atotonilco** por 25 anos.

Gatilhos para o projeto

O principal gatilho do projeto foi uma combinação entre três fatores:

- Tratamento dos esgotos da ZMVM com fins de melhoria da saúde pública.
- Melhoria da qualidade ambiental (principalmente hídrica) da região.
- Promoção da reutilização segura das águas residuais na agricultura irrigada do VM.

Modelo de negócio

No modelo de negócio apresentado, o governo do México estabeleceu um contrato com o consórcio privado ATVM, no formato BOT. Ou seja, o consórcio é responsável pela construção e operação da planta por um período de 25 anos (2010-2035). Ao final do contrato, o consórcio transfere a operação novamente ao Estado.

Parte dos esgotos tratados alimentam os canais existentes de irrigação para consumo direto dos agricultores, sem qualquer custo por este uso. Para garantir a operação, a manutenção e administração dos serviços de saneamento, os usuários pagam tarifa para coleta e tratamento dos seus esgotos.

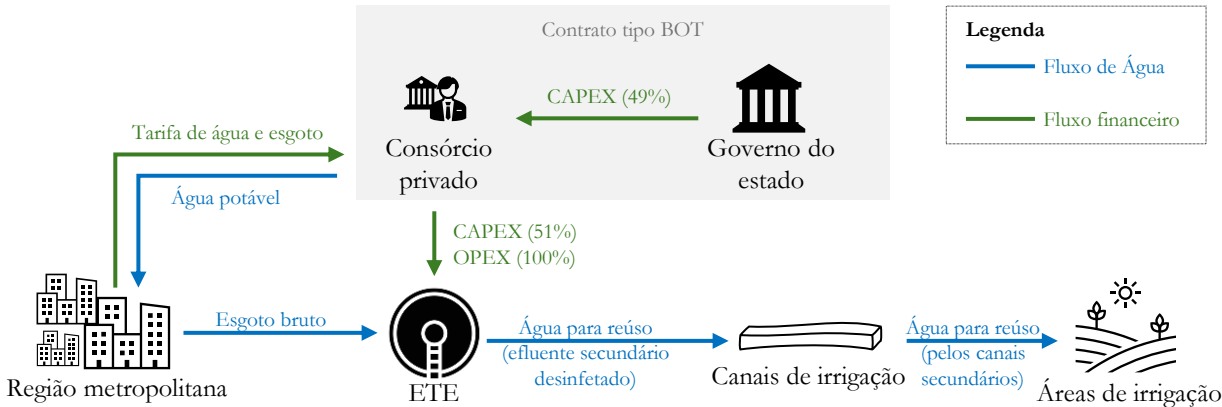


Figura 12 | Fluxograma projeto Atotonilco (México)

Aplicação e arranjo tecnológico

A ETE Atotonilco entrou em operação em 2017 e conta com duas linhas de tratamento, considerando a origem da água e sua aplicação final. A primeira linha adota decantação primária quimicamente assistida e desinfecção por cloro para tratamento de águas pluviais e posterior descarte no corpo receptor. A segunda adota lodo ativado convencional e desinfecção por cloro para tratamento dos esgotos e direcionamento do efluente final aos canais de irrigação para fins reutilização na agricultura. Dois destaques ainda se fazem necessário:

- O processo biológico não envolve remoção de nutrientes, com o objetivo de permitir a fertirrigação.
- AR produzida também é adotada na operação da ETE, reduzindo seu consumo de água potável em 93%.

Capacidade

A ETE Atotonilco trata, em média, 35 m³/s do esgoto gerado na ZMVM. Antes da sua construção, os agricultores do VM irrigavam a área de cultivo (principalmente milho e alfafa), com águas residuais sem tratamento. A construção da ETE permitiu a irrigação irrestrita para outros produtos agrícolas, possibilitando a diversificação de culturas e o aumento da área irrigada para 80 mil hectares.

Este cenário, embora considerado um dos projetos mais antigos do mundo de irrigação agrícola com efluente sanitário (antigamente bruto e atualmente tratado) levanta discussões sobre a sua segurança, no contexto da irrigação de culturas mais sensíveis à contaminação.

Custos do projeto

O CAPEX da ETE Atotonilco (ano 2017) foi de 686 milhões USD, com 49% financiado pelo poder público e 51%, pela iniciativa privada. Do investimento privado, 39% consistiu em capital próprio do investidor, enquanto 61% foi oriundo de crédito concedido pelo Banobras (*Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos*).

A tarifa cobrada pelos usuários dos serviços de coleta e tratamento de esgotos na ZMVM (0,97 USD/m³) cobre os custos de CAPEX e OPEX (0,092 USD/m³) da ETE Atotonilco, que produz AR como efluente secundário desinfetado.

Conforme já destacado, os agricultores não pagam tarifa pelo uso da AR e sim, somente pela infraestrutura local e individual de captação.

Impactos sociais e ambientais

A ETE Atotonilco foi projetada para tratar 60% dos esgotos da ZMVM. É considerada a maior do mundo construída em uma única fase e a terceira em capacidade de tratamento. A sua entrada em operação transformou o VM em uma das áreas com maior utilização de águas residuais tratadas no setor agrícola em todo o mundo. Neste sentido, muitos foram os seus impactos positivos:

- Melhoria da qualidade ambiental e redução da superexploração dos aquíferos do VM.
- Aumentos da produtividade agrícola e de empregos na indústria agrícola da região.
- Redução de custos associados a doenças causadas pela ingestão direta de água contaminada e de vegetais regados com água contaminada.

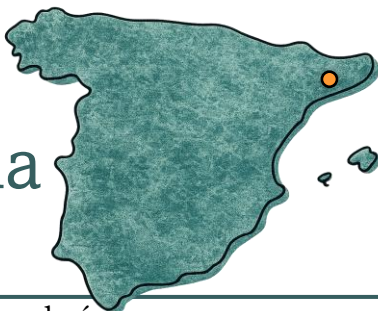
Desafios e lições aprendidas

- Um dos principais desafios do projeto foram os sucessivos atrasos da obra, considerando (i) seu porte, que exigiu vasta experiência técnica e tecnológica; (ii) conflitos sociais resultantes de disputas territoriais envolvendo a sociedade civil, as autoridades municipais e o consórcio; e (iii) o atraso no cronograma das partes mais complexas da obra, como por exemplo, os túneis coletores de grande porte.
- O envolvimento efetivo do setor público e a solidez institucional foram cruciais para o sucesso do projeto incentivando a participação do setor privado que proporcionou segurança aos investidores a longo prazo.
- Aspectos como o prazo da concessão (25 anos) e o percentual de financiamento público (49%) tornaram este projeto um investimento atraente para o setor privado, reduzindo o risco do investimento.
- Inicialmente, os agricultores locais foram contra a construção da ETE, temendo a tarifação pelo uso da AR e a escassez de água e nutrientes para suas culturas. Assim, uma comunicação eficaz sobre os benefícios para a saúde, para a produtividade agrícola da região e para a proteção do meio ambiente foi essencial para a mediação dos conflitos.
- O quadro regulatório estabelecido, com normas claras para a promoção do uso seguro e sustentável dos efluentes tratados foi essencial para a consolidação do projeto. O quadro regulatório envolveu tanto as diretrizes para lançamento como para uso de efluentes tratados.



ETE El Baix Llobregat

Barcelona Espanha



Modalidade de reúso de água
Aplicação urbana e ambiental

Caracterização local

Barcelona é a capital da Catalunha, no nordeste da Espanha e a segunda cidade mais populosa do país, com 5,6 milhões de habitantes em sua região metropolitana. A região reutiliza cerca de 30% dos esgotos tratados para agricultura, manutenção de vazão ecológica do rio, proteção de áreas úmidas, barreira contra intrusão salina via recarga de aquíferos, abastecimento urbano, recreação e indústria. Embora o projeto envolva várias modalidades, destaque será dados ao reúso ambiental (maior demanda) e ao reúso urbano (aplicação típica na Europa como opção secundária a uma finalidade de maior escala).

O caso descrito envolve a **Autoridade Ambiental da Área Metropolitana de Barcelona (MAB-EMA)**, a **Agência Catalã da Água (ACA)** e a **EMSSA**, operadora pública da **ETE El Baix Llobregat** (em El Prat), responsável pela produção de AR para diferentes fins.

Gatilhos para o projeto

O principal gatilho do projeto está associado à escassez hídrica sazonal em função dos verões quentes e secos cada vez mais recorrentes. Com precipitação média anual de 600 mm, a falta de água em Barcelona é sempre uma ameaça que impulsiona ações concretas de diversificação da matriz hídrica. Neste sentido, o projeto nasceu do objetivo de possibilitar diferentes fontes de água para vários usos.

Modelo de negócio

A ETE El Baix Llobregat entrou em operação em 2003, com tratamento primário e secundário. Face à escassez hídrica crônica da Catalunha, em 2006 entrou em operação a sua etapa avançada, integrada na infraestrutura original, para fins de reúso. A gestão do esgoto é pública, mas a de água é privada. Assim o modelo de negócio é uma PPP baseada na “troca sazonal de água” que substitui fonte para diferentes usos em períodos específicos de maior vulnerabilidade hídrica.

- **Agricultura:** Os canais de irrigação recebem AR nos períodos de seca e os agricultores podem optar pela tarifa. Em situação de racionamento, a tarifa de AR é obrigatória e os agricultores arcam com o transporte.
- **Ambiental:** Nos períodos de seca, a AR é introduzida no rio para manutenção da vazão ecológica. Em situação extrema, é bombeada (16km de extensão) e introduzida 8 km a montante da captação para abastecimento doméstico, configurando o reúso potável indireto (não é a principal modalidade).
- **Urbano (e industrial):** AR é transportada por caminhão pipa ou tubulação a depender da região da cidade. Há reservatórios implantados na malha urbana.
- **Intrusão salina:** AR é constantemente injetada nos aquíferos para prevenção da entrada da água do mar nos aquíferos subterrâneos.

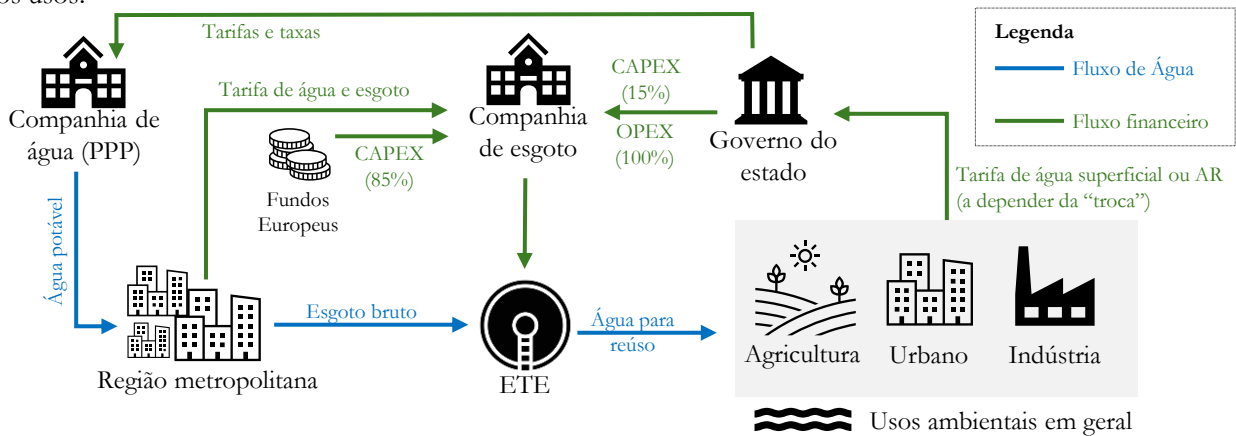


Figura 13 | Fluxograma projeto Barcelona (Espanha)

Aplicação e arranjo tecnológico

A etapa secundária da ETE El Baix Llobregat é composta por lodo ativado com remoção de nutrientes (N e P). Aproximadamente 70% da vazão tratada é lançada no mar e 30% passa por tratamento avançado, de acordo com o fim e a qualidade requeridos. Neste sentido, diferentes combinações tecnológicas permitem o alcance de qualidade para os diferentes usos.

- A **etapa básica** envolve processo físico-químico, filtração e desinfecção UV com o objetivo de produzir AR para reposição de vazão em cursos d'água (a jusante da ETA) e restauração de áreas úmidas.
- A combinação da etapa básica com **ultrafiltração e osmose inversa** produz AR para irrigação agrícola, usos urbanos e reposição de vazão em cursos d'água (a montante da ETA)
- A adição de **eletrodíálise inversa** produz AR para abastecer a barreira contra a intrusão de água do mar e irrigação de culturas mais exigentes.

Capacidade

A etapa avançada da ETE El Baix Llobregat tem capacidade para produzir aproximadamente 3,5 m³/s de AR. Somente 1% (0,04 m³/s) da AR é destinada ao uso urbano (irrigação de áreas verdes e limpeza de ruas). As demais aplicações são distribuídas da seguinte forma: restabelecimento do fluxo do rio Llobregat (80%), estabilização de áreas úmidas (11%), irrigação agrícola (6%), prevenção da intrusão salina no aquífero (1%), aplicação industrial (1%).

Custos do projeto

O orçamento inicial para a ETE El Baix Llobregat foi fixado em 102 milhões de euros (143 milhões USD), em 2008. Destaca-se que 85% do total foi financiado pelos Fundos Europeus, enquanto a ACA financiou os 15% restantes. No entanto, os custos finais de construção superaram o orçamento inicial, atingindo 142 milhões de euros (200 milhões USD).

Os custos de construção foram divididos em diferentes segmentos, incluindo 15,6 milhões de euros (21,8 M USD) para a remoção de nutrientes, 23 milhões de euros (32,2 M USD) para a unidade de tratamento avançado, 66,8 milhões de euros (93 M USD) para a rede de distribuição de AR, 15,9 milhões de euros (22,2 M USD) para a estação de eletrodíálise inversa e aproximadamente 20 milhões de euros (28 M USD) para a barreira contra a intrusão de água do mar.

Estima-se que a AR produzida na etapa básica tenha custos de O&M da ordem de 0,05 €/m³ (0,07 USD/m³). Na mesma linha, o custo de O&M para o conjunto de membranas é da ordem de 0,23 €/m³ (0,31 USD/m³) e para a eletrodíálise, 0,36 €/m³ (0,50 USD/m³).

Nota: Índices de conversões de moeda: 1 Euro = 1,4 USD (2008 a 2010).

Impactos sociais e ambientais

Os principais impactos do projeto são: i) redução de custos diretos (econômicos) e indiretos (ambientais e sociais) associados a futuras secas; ii) estabilidade hídrica da região; e iii) redução da pressão sobre a demanda por água doce e do esgotamento de águas subterrâneas. Ao longo dos anos, observou-se ainda uma melhoria significativa da qualidade da água do rio Llobregat.

Por outro lado, a AR de alta qualidade permitiu maior estabilidade na produtividade agrícola, garantindo fornecimento contínuo de frutas e hortaliças locais.

Por fim, a barreira hidráulica contra a intrusão de água do mar garante água subterrâneas com melhor qualidade.

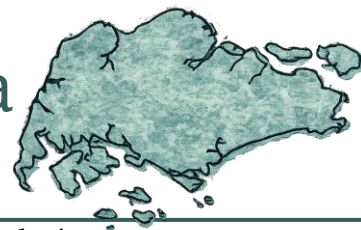
Desafios e lições aprendidas

- Até o momento, a MBA-EMA depende da troca voluntária de água realizada por agricultores (exceto em períodos de seca), indústrias e usuários urbanos. Neste sentido, o apoio regulatório é fundamental para a definição de limites para a captação de águas superficiais ou subterrâneas em troca do fornecimento confiável de água residual tratada em nível terciário.
- A escalabilidade do modelo de negócios atual é ameaçada pelas demandas sazonais dos usuários finais.
- As demandas são comunicadas com pouca antecedência e não são planejadas com base nas necessidades de longo prazo.
- Necessidade de ampliação da infraestrutura de armazenamento de água para garantir a operação contínua da etapa avançada da ETE.
- Em períodos de oferta suficiente de água doce, infraestruturas de alto custo (osmose inversa e eletrodíálise inversa) permanecem ociosas e sujeitas a danos.
- O modelo é replicável em regiões com escassez hídrica, uma vez que o tratamento de águas residuais pode ser adaptado para qualquer finalidade de reúso e alocado ao tipo de uso que proporcione o maior retorno econômico para aquele padrão de qualidade da água.
- É necessário monitorar a qualidade das culturas e da água para evitar a rejeição dos produtos nos mercados consumidores.



Estação de Recuperação de Água de Changi

Singapura Singapura



Modalidade de reúso de água

Aplicação potável + industrial

Caracterização local

Singapura é uma cidade-Estado insular, localizada no sudeste asiático, fazendo fronteira (somente marítima) com a Malásia ao norte e a Indonésia ao sul. Sua população é da ordem de 6,1 milhões de habitantes, distribuídos em 720 km². Com um índice de 8.300 hab/km², destaca-se como um dos países mais densamente povoados do mundo. Atualmente, 40% da demanda de água da região é suprida com AR, com meta de alcançar 55% até 2060.

O caso descrito refere-se à **NEWater**, marca da AR produzida em Singapura e gerida pela **PUB** (*Public Utilities Board*), o órgão público responsável pela gestão da água no país. O programa NEWater entrou em operação comercial em 2003, para fins industriais; gradualmente, passou a integrar o sistema de abastecimento doméstico, de forma indireta, a partir da sua injeção nos reservatórios de água bruta.

Gatilhos para o projeto

A pluviosidade média anual em Singapura é da ordem de 2000 mm, com chuva bem distribuída ao longo dos meses. Mesmo em condições de alta pluviosidade, o país sofria escassez hídrica estrutural e política em função da sua dependência e vulnerabilidade em relação à Malásia. Assim, o principal gatilho para o desenvolvimento do programa NEWater, envolveu 3 pilares:

- 1. Dependência geopolítica:** Após a sua independência em 1965, Singapura ainda dependia da importação de água potável da Malásia, a partir de acordos firmados na era colonial. Com ameaças de cortes frequentes, era fundamental garantir autossuficiência para eliminar essa dependência antes do fim dos prazos contratuais.
- 2. Limitações de armazenamento:** O território reduzido e altamente urbanizado inviabiliza a construção de barragens e reservatórios de água. O solo denso e a ausência de aquíferos significativos inviabilizam a acumulação da água subterrânea.

- 3. Desenvolvimento tecnológico:** Os primeiros testes realizados na década de 70 falharam em função da qualidade das membranas. Na década de 90, a tecnologia de membranas evoluiu significativamente (principalmente a osmose inversa) tornando a produção de AR economicamente viável e segura.

Modelo de negócio

Atualmente, o programa NEWater conta com 5 plantas em operação: **Changi 1 e 2, Ulu Pandan, Kranji e Bedok** (a primeira do programa). Duas novas plantas estão em construção com previsão de comissionamento em 2026: i) **Changi 3**, verticalizada em cima das outras duas, para centralizar a produção na região leste e substituir a planta de Bedok, que será encerrada; ii) **Tuas**, com o objetivo de aumentar a capacidade na região oeste.

O modelo de negócio envolve dois contextos:

- 1) 100% público:** As plantas Bedok e Kranji, ambas comissionadas em 2002, foram construídas e operadas inteiramente pela PUB, com o objetivo de demonstrar a viabilidade do negócio.
- 2) PPP:** Com a confirmação do potencial do mercado, a partir de 2007, a expansão adotou consórcios privados para construção e operação das plantas em formato DBOO (sem transferência direta do ativo após o contrato), enquanto a PUB garante a compra da água a longo prazo através de contratos. Este caso envolveu o comissionamento de Ulu Pandan (2007), Chengi 1 (2010), Chengi 2 (2017), além de Chengi 3 e Tuas com previsão para 2026.

No caso dos projetos em PPP, o próprio esgoto e a infraestrutura de coleta, transporte e tratamento convencional dos esgotos (etapas primária e secundária) são de propriedade e operação públicas. Ou seja, a PUB fornece a matéria prima e compra de volta o produto final. O consórcio privado é responsável somente pelo refinamento tecnológico, adjacente à planta convencional, que garante a elevada qualidade da NEWater.

O programa NEWater é integrado por meio do *Deep Tunnel Sewerage System* (DTSS), considerado uma das maiores obras de engenharia subterrânea do mundo. O 1º túnel (48 km), concluído em 2008, transporta efluentes das zonas leste e central para a planta de Changi. O 2º (98 km), em comissionamento, atenderá as regiões oeste e sul direcionando os fluxos para a nova central de Tuas. Destaca-se ainda que os túneis do DTSS foram escavados a profundidades de 35 a 55 m (abaixo das linhas de metrô e ruas), para garantir o transporte por gravidade e reduzir o consumo de energia.

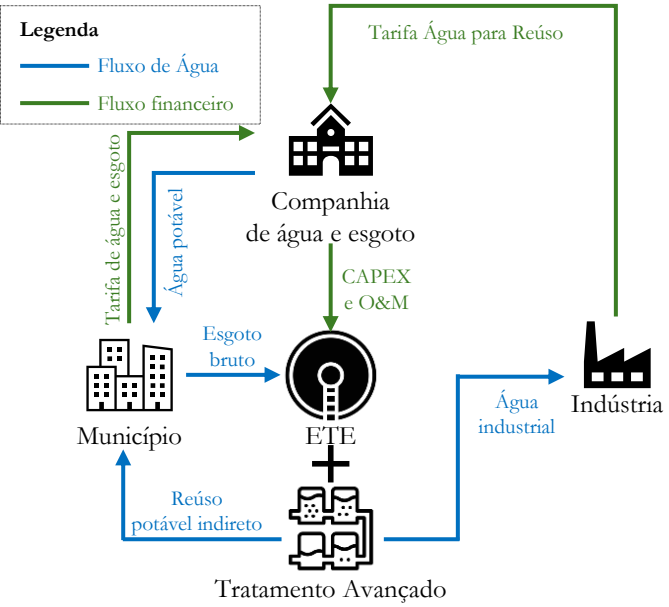


Figura 14 | Fluxograma projeto Singapura (1ª Fase)

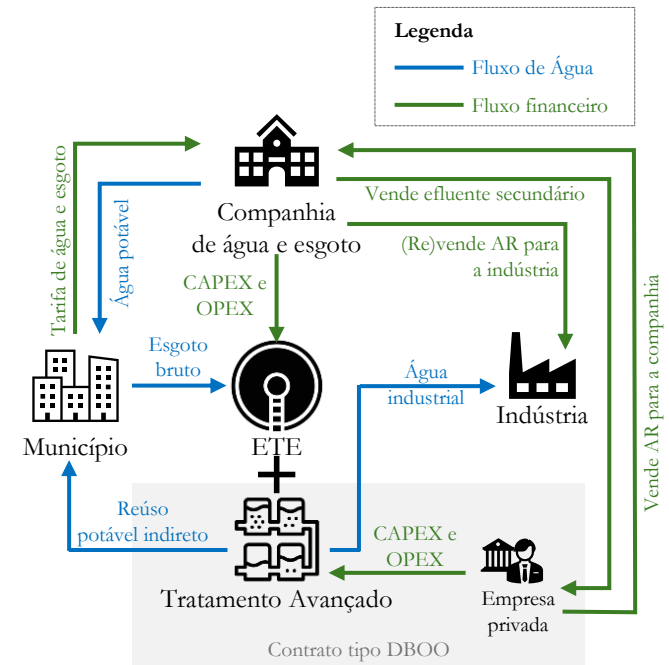


Figura 15 | Fluxograma projeto Singapura (2ª Fase)

Aplicação e arranjo tecnológico

O Programa NEWater foi concebido para reuso industrial e potável indireto simultaneamente. A modalidade industrial entrou em operação imediata, enquanto o potável indireto foi faseado, com injeção de AR nos reservatórios de água bruta e posterior tratamento na ETA. Atualmente, a divisão entre uma e outra é variável, em função das oscilações de demanda e da qualidade exigida em cada caso.

Todos os 5 sistemas atualmente em operação funcionam com o mesmo arranjo tecnológico. A etapa convencional do tratamento é realizada a partir do processo e lodo ativado. A etapa avançada é realizada a partir de uma combinação entre microfiltração, osmose inversa e desinfecção por radiação ultravioleta.

Capacidade e atendimento

A capacidade combinada total das plantas em operação é de 7,32 m³/s e, conforme mencionado, cobre cerca de 40% da demanda total de água de Singapura. Cada planta conta com as seguintes capacidades individuais:

- **Planta Bedok:** A planta original tem capacidade para 0,79 m³/s. No entanto, após a conclusão da Planta Gangi 3 e da infraestrutura de transporte, o seu volume passará a ser transferido para este novo complexo.
- **Planta Kranji:** A planta é adaptada diretamente à zona industrial da reguão norte e tem capacidade para 0,75 m³/s.
- **Complexo Changi (plantas 1 e 2):** É o principal complexo do programa NEWater e conta com duas unidades de 2,19 m³/s cada uma, perfazendo um total de 4,38 m³/s.
- **Planta Ulu Pandan:** A planta tem capacidade para 1,40 m³/s.

A nova planta de Tuas foi projetada para uma capacidade de 3,29 m³/s, com o objetivo elevar o índice de atendimento do país para 55% da demanda, até 2060.

O Programa NEWater completo, considerando ainda o sistema de túneis projetados para transporte, terá capacidade total para mais de 10 m³/s.

Outro ponto importante é que a planta de Tuas, conhecida como Tuas Nexus, incorpora outros conceitos de economia circular, integrando-se fisicamente a uma central de gestão de resíduos sólidos. Assim, o lodo da ETE será misturado com o lixo orgânico para codigestão anaeróbia e produção de energia elétrica, tornando a etapa avançada da planta autossuficiente nesse aspecto.

Análise financeira

O programa NEWater conta com 5 plantas de produção da AR e terá uma capacidade total máxima de 10,6 m³/s, além de um sistema de túneis de transporte com um total de 146 km de extensão, quando tudo estiver em pleno funcionamento. Este complexo, que continua em expansão, vem sendo construído, operado e ampliado desde o ano 2000. Ainda, a planta Tuas Nexus que encontra-se em fase final de construção é integrada a uma central de gestão de resíduos sólidos.

A grandiosidade dessa estrutura e o seu faseamento ao longo do tempo impedem uma análise financeira mais detalhada, no escopo do presente estudo. Além disso, os custos de CAPEX das plantas privadas mais recentes não são totalmente públicos por motivos de sigilo comercial das empresas listadas em bolsa.

Neste sentido, estão aqui apresentados dados financeiros mais gerais, que não devem ser comparados diretamente aos demais projetos apresentados no estudo. Isso poderia incorrer em erros e eventualmente, em conclusões inadequadas.

O DTSS, com um investimento 100% público, é considerado o maior componente de CAPEX de todo o programa NEWater. A fase 1 foi concluída em 2008, no valor de 3,4 bilhões de dólares singapurianos (SGD), equivalente a 2,4 bilhões USD, no mesmo ano. A fase 2, com conclusões faseadas a partir de 2027, apresentou CAPEX de 6,5 bilhões SGD (4,5 bilhões USD).

As plantas de tratamento, com investimentos públicos e privados efetuados ao longo de mais de 20 anos, apresentam CAPEX da ordem de 0,12 USD/m³ a 0,15 USD/m³ e OPEX, da ordem de 0,08 USD/m³ a 0,15 USD/m³.

Como dados adicionais, destaca-se que o CAPEX da planta Changi 3 ficou entre 180 a 230 milhões USD, considerando sua construção verticalizada, acima das plantas 1 e 2 e a consequente redução de custo com terreno e aspectos gerais de uma obra convencional.

Outro ponto de destaque dessa análise financeira é o conceito do “OPEX Disruptivo” incorporado à planta Tuas Nexus. Esta infraestrutura foi concebida e projetada para quebrar a lógica de custos do OPEX. O custo com energia elétrica (que costuma representar mais de 60% no OPEX tradicional) será mitigado em função do fornecimento de energia autogerada a partir do biogás proveniente da codigestão do lodo da ETE com os resíduos orgânicos.

Nota: Índices de conversão de moeda: 1 USD = 0,69 SDG (2008)

Impactos sociais e ambientais

O Programa NEWater criou um modelo de produção e fornecimento de água de alta qualidade, completamente diferente do modelo estabelecido no mundo desde o período romano. Este novo modelo quebrou paradigmas e estipulou uma tendência de adaptação climática e de resiliência hídrica não somente para o próprio país, mas para o mundo. Não se trata somente da sistematização do reúso de água e sim, de um planejamento hídrico integrado em 3 pilares: i) coleta, transporte e tratamento de águas residuais; ii) tratamento avançado do efluente secundário para produção de AR; e iii) sistematização do uso com demandas de qualidade elevada como o abastecimento doméstico e a aplicação industrial.

Este contexto levou a impactos bem estabelecidos na sociedade e no meio ambiente:

- Redução da vulnerabilidade hídrica e da relação de dependência geopolítica com a Malásia.
- Redução das pressões sobre os restritos ecossistemas aquáticos locais.
- Conscientização da população e redução drástica do efeito “eca”. Em vez de rejeição, a NEWater tornou-se um motivo de orgulho nacional.
- Desenvolvimento e estabilidade socioeconômica a partir da disponibilidade de água de elevada qualidade que atraiu o setor industrial de alto valor agregado.

Desafios e lições aprendidas

Em linhas gerais, há duas lições claras no processo de desenvolvimento do programa NEWater:

- 1) Como forma de viabilizar o negócio, o governo assumiu todos os custos de OPEX e CAPEX, além dos riscos financeiros das primeiras plantas, com o objetivo de demonstrar o potencial do mercado.
- 2) Como forma de reduzir o impacto da rejeição, a PUB investiu em intensos e modernos programas de conscientização. Um dos pontos de destaque foi a troca no termo “esgoto” ou “água residual” para “água usada”. Outro ponto foi a criação da marca NEWater, desvinculando completamente o esgoto da água de abastecimento. Por fim, criou o *NEWater Visitor Centre*, um museu interativo onde estudantes e turistas podem ver o processo e beber a água diretamente de garrafas distribuídas gratuitamente.

Como principal desafio, destaca-se o nível de planejamento e estruturação do programa, que não é facilmente replicável, embora seja possível.



Califórnia Estados Unidos



Modalidade de reúso de água Aplicação potável (indireto)

Planta de Reúso Potável Indireto de Orange County

Caracterização local

O Condado Orange (*Orange County*) é localizado no sul da Califórnia, integrado à região metropolitana de Los Angeles e próximo a San Diego. Sua pluviosidade média é da ordem de 300 mm por ano, caracterizando um clima semiárido. Com população total superior a 3 milhões de habitantes, é o 6º condado mais populoso do país.

O caso descrito refere-se ao **Groundwater Replenishment System (GWRS)**. Trata-se do maior sistema de reúso potável indireto do mundo com recarga de aquífero subterrâneo. Está em operação desde 2008 e atualmente abastece um milhão de habitantes, superando 35% da demanda total. O projeto é fruto de uma parceria 100% pública, entre o **Orange County Sanitation District (OC San)** e o **Orange County Water District (OCWD)**. O OC San fornece esgoto tratado ao OCWD para tratamento avançado e posterior injeção nos aquíferos que integram a malha de abastecimento.

Gatilhos para o projeto

A implantação do GWRS foi impulsionada pela escassez de água e dependência de fontes hídricas externas, pela necessidade de bloquear a intrusão de água salgada no aquífero costeiro, e pelo desejo de evitar a construção de novos emissários oceânicos de esgoto.

Modelo de negócio

O OCWD foi criado em 1933 para gerir a bacia de águas subterrâneas da região. Em 2008, entrou em operação o GWRS, um programa de reúso potável indireto, que funciona a partir do fornecimento do esgoto tratado da ETE Fountain Valley (operada pelo OC San) ao OCWD para tratamento avançado e posterior recarga dos aquíferos. Em 2023, entrou em operação a ETE Huntington Beach para alcançar a capacidade máxima do GWRS. Enquanto o OC San fornece o efluente secundário (a custo zero), o OCWD opera o tratamento avançado e a injeção controlada no aquífero, gerindo o fluxo financeiro de tarifas.

O modelo dilui os custos entre as duas autarquias. Por um lado, ao fornecer o esgoto tratado a custo zero, a OC San evita novos gastos com construção e operação de emissário submarino. Por outro lado, a OCWD recupera o investimento cobrando taxa de recarga de água das companhias locais e de captações pontuais. A taxa de recarga é consideravelmente inferior ao custo e importação de água de fontes convencionais distantes e o modelo ainda conta com subsídios estaduais e federais para incentivo aos projetos de resiliência hídrica.

A tarifa de esgoto é uma taxa única paga pelo usuário do sistema ao governo do condado. Este por sua vez, transfere o recurso ao OC San para custeio de O&M. No caso da água, a tarifa do usuário é mensal, paga diretamente à autarquia municipal fornecedora de água. Esta, por sua vez, paga a taxa de recarga ao OCWD.

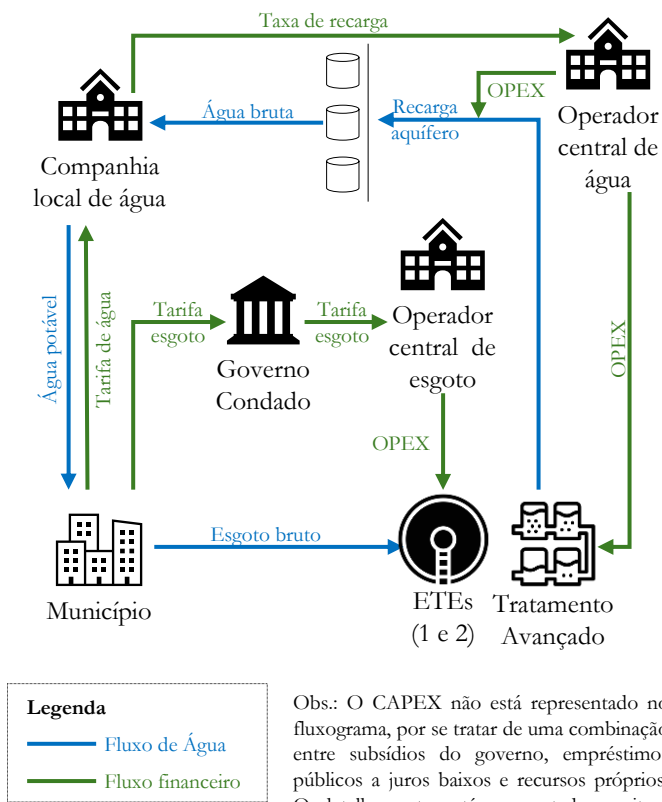


Figura 16 | Fluxograma projeto Orange County (Califórnia, Estados Unidos)

Aplicação e arranjo tecnológico

A ETE Fountain Valley adota tratamento secundário a partir do processo de lodo ativado. A ETE Hountington adota um sistema híbrido a partir de uma combinação entre lodo ativado e filtro biológico percolador.

Atualmente, ambas as ETEs, operadas pelo OC San, encaminham seus efluentes secundários para a unidade de tratamento avançado operada pela OCWD. Esta conta com um arranjo tecnológico composto por microfiltração, osmose inversa e desinfecção complementar por oxidação avançada (UV + peróxido de hidrogênio).

A água final produzida, de muito alta qualidade, alimenta os aquíferos subterrâneos da região. Posteriormente, a captação do aquífero prevê somente desinfecção e adequação química para distribuição aos usuários.

Capacidade

O sistema completo do GWRS opera, atualmente, na sua capacidade completa de 5,70 m³/s. A ETE Fountain Valley contribui com 4,38 m³/s e a ETE Huntington, com 1,32 m³/s. Ambas as unidades de tratamento de esgotos operam, normalmente, próximo às suas capacidades individuais. No entanto, estão preparadas para receber cargas extras em caso de maiores volumes de águas pluviais e descargas industriais, quando necessário.

As águas subterrâneas atendem 2,5 milhões de usuários do Condado, sendo responsável por 77% do abastecimento de água total. Somente o GWRS aporta água para um equivalente de 1 milhão de pessoas, superando 30% da demanda total do condado (3,3 milhões de habitantes).

Análise financeira

O CAPEX total acumulado do GWRS totaliza aproximadamente 933 milhões USD. Este investimento foi realizado de forma faseada ao longo de três grandes etapas, de 2008 a 2023, até o alcance da capacidade total.

- Projeto Original (2008): 481 milhões USD, divididos em partes iguais entre o OCWD e o OC San.
- Primeira Expansão (2015): 142 milhões USD, elevando a produção para 4,38 m³/s.
- Expansão Final (2023): 310 milhões USD, adicionando os últimos 1,32 m³/s para atingir a capacidade total.

O Estado financiou 54% do CAPEX (subsídios e empréstimos públicos a juros baixos). O restante foi custeado pelas agências locais (OCWD e OC San) com recursos públicos próprios.

O OPEX varia de 0,39 a 0,42 USD/m³ e a tarifa de reposição é de aproximadamente 0,58 USD/m³.

Impactos sociais e ambientais

Os principais impactos estão relacionados à quantidade e à qualidade. Por um lado, a capacidade do sistema atualmente em operação é suficiente para o atendimento da população, garantido a segurança do abastecimento mesmo em situações de seca. Por outro lado, a água de abastecimento a partir do reúso potável indireto é de muito elevada qualidade, garantindo segurança sanitária e ambiental.

O programa ativo de comunicação, desde o início do projeto e intensificado ao longo dos anos de operação, tem como consequência a maior aceitação do projeto e o desenvolvimento de uma sociedade mais engajada com o tema “água”.

O reaproveitamento de recursos é tratado como o coração do projeto, minimizando impactos de descarte de águas residuais no mar e garantindo a circularidade da água.

É de se destacar que o custo de energia operacional do GWRS se apresentou como a metade do custo de energia para importação de água superficial de outras bacias e 1/3 da custo de energia para dessalinização da água do mar.

Desafios e lições aprendidas

Ao longo de quase 20 anos de operação, o GWRS acumulou diversos desafios técnicos e operacionais, que se transformaram em referências globais de gestão, tais como *fouling*, descarte do permeado da osmose inversa e o desafio dos novos poluentes.

O maior obstáculo não foi a engenharia, mas sim a rejeição pública e a desconfiança da comunidade. Foi neste contexto que o OCWD desenvolveu uma das campanhas de educação pública mais bem-sucedidas do mundo. Em vez de esconder a origem da água, criou um centro de visita com visitas guiadas, palestras escolares e distribuição de garrafas de água purificada para demonstrar a sua qualidade.

O modelo financeiro ensinou que o reúso de água, neste caso, não deve ser visto apenas como "produção de água", mas também como proteção ambiental (barreira contra a intrusão salina do oceano no aquífero). Isso permitiu captar subsídios de agências ambientais, climáticas e de infraestrutura simultaneamente, amortizando o CAPEX.

Por fim, destaca-se que a Califórnia foi uma região pioneira na regulamentação do reúso de água no mundo, criando condições de adaptação e de aceitação dos novos empreendimentos de reúso.



Estação de Produção de Água New Goreangab

Windhoek Namíbia



Modalidade de reúso de água
Aplicação potável (direto)

Caracterização local

A Namíbia é considerada o país mais seco da África Subsaariana, moldada por paisagens extremamente desérticas. Mais de 90% do seu território é classificado como hiperárido, árido ou semiárido. Mais de 80% da precipitação evapora-se rapidamente e apenas 1% do solo nacional é considerado cultivável, forçando o país a depender fortemente de águas subterrâneas. A sua capital Windhoek, com quase 500 mil habitantes, é localizada no centro geográfico do país, com um clima semiárido e precipitação média anual de aproximadamente 350 mm.

O caso descrito refere-se ao 1º projeto de reúso potável direto (RPD) do mundo, iniciado em 1968. Atualmente, a **New Goreangab Water Reclamation Plant (NGWRP)** é gerida pelo consórcio **WINGOC (Windhoek Goreangab Operating Company)** em um contrato direto com o município (**Bulk Water and Wastewater Division - BWWD**), atendendo 35% da demanda total por água potável.

Gatilhos para o projeto

O projeto foi motivado por uma combinação de fatores críticos na década de 60: esgotamento das fontes hídricas locais, explosão demográfica após a Segunda Guerra Mundial, forte temporada de seca nos anos 1950-1960, e a sua distância geográfica de rios perenes inviabilizando financeiramente projetos convencionais de captação de água para novos sistemas de abastecimento.

Modelo de negócio

O RPD da Namíbia teve início em 1968, com a Planta de Recuperação de Água Goreangab, lançado pela autarquia municipal para combater a seca extrema. Após o término da sua vida útil, ela foi desativada para fins potáveis, permanecendo com a operação somente para produção de água para irrigação de parques e campos desportivos.

Em 2002, a NGWRP iniciou sua operação gerida pelo consórcio WINGOC em formato BOOT. O contrato de 20 anos foi aditado após o seu término, como um case de sucesso, com o investimento totalmente recuperado. Nova expansão já encontra-se em fase de desenvolvimento pré-executivo e preparação de mercado.

No modelo de negócio atual, o consórcio privado opera a planta e vende a AR para o município por uma tarifa fixa em um contrato de longo prazo. Além disso, o município é obrigado a pagar por um volume mínimo de água, consumido ou não (“Take-or-Pay”). Ambas as ações favorecem a viabilidade do negócio.

No modelo completo, a BWWD é responsável pela coleta e tratamento dos esgotos (ETE Grammams) e pelo tratamento (ETA von Bach) e distribuição de água potável. Ainda, é responsável pela injeção da água potável proveniente da NGWRP, na rede de distribuição. A tarifa de serviços paga pelos usuários permite o pagamento da tarifa de AR ao consórcio privado.

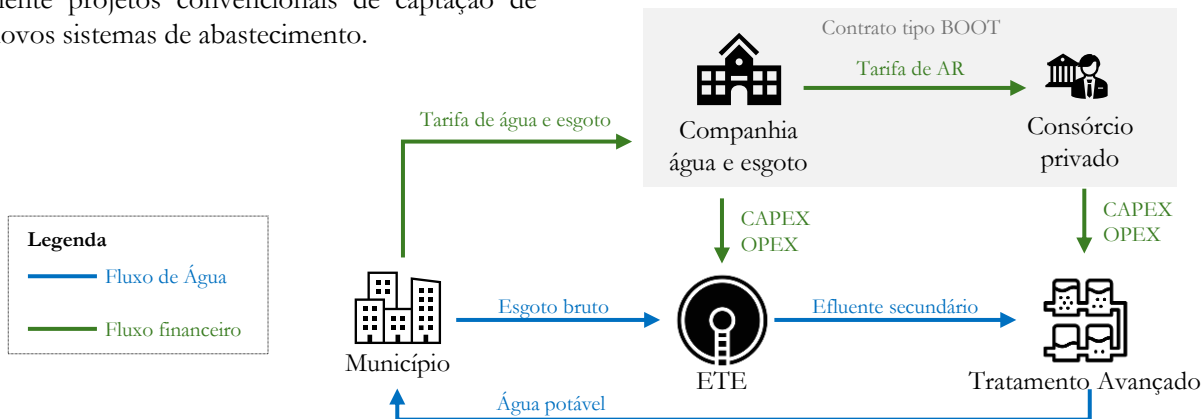


Figura 17 | Fluxograma projeto Windhoek (Namíbia)

Aplicação e arranjo tecnológico

A ETE Gammams é composta por lodo ativado com remoção de nutrientes seguido de lagoas de maturação. Seu efluente é bombeado por um trecho de quase 5 km até a NGWTP. Esta unidade avançada é composta pela sequência das seguintes tecnologias: pré-oxidação com ozônio, físico-químico com flotação por ar dissolvido, filtração em areia, ozonização para desinfecção, filtração biológica em carvão ativado, filtração em carvão ativado granular, membrana de ultrafiltração e desinfecção por cloro. A unidade é uma referência mundial por garantir a qualidade potável mesmo sem o uso de membrana de osmose inversa.

A água produzida na NGWRP é injetada diretamente na adutora de água potável que recebe também, água da ETA von Bach e água subterrânea de poços profundos.

Capacidade

A capacidade inicial do sistema, em 1968, era de apenas 0,05 m³/s. Desde 2002 esta unidade encontra-se desativada para o reúso potável e a capacidade atual concentra-se somente na NGWRP com 0,24 m³/s, equivalente a 35% da demanda por água potável. O sistema de abastecimento (água da ETA + reúso) atende praticamente 100% da população do município, equivalente a mais de 400 mil habitantes. A flexibilidade da NGWRP permite atender até 60% da demanda, em situações de seca extrema e regime de contingência.

Conforme mencionado, devido ao crescimento populacional e à pressão climática, a nova planta já se encontra em fase de pré-projeto executivo para adicionar mais 0,12 m³/s ao sistema local.

Custos do projeto

O CAPEX para implantação da NGWRP, em 2002, foi de aproximadamente 16 milhões euros (15,2 milhões USD). Por sua vez, O OPEX varia de 0,69 a 0,82 USD/m³ e a tarifa de AR paga pelo município tem um histórico de variação de 0,82 a 2,50 USD/m³.

Nos anos de elevada pluviosidade, as barragens locais ficam cheias e o município reduz a compra de água à NGWRP. Contudo, devido à cláusula contratual “*Take-or-Pay*”, o valor fixo mantém-se, fazendo com que o custo por metro cúbico efetivamente entregue dispare para o teto de 2,50 USD/m³. Em contrapartida, nos anos de seca extrema, a central opera na capacidade máxima e o custo unitário cai para o mínimo de 0,82 USD/m³.

Impactos sociais e ambientais

O principal benefício social do projeto reside na garantia de segurança hídrica e na resiliência urbana. A planta assegura o abastecimento contínuo de mais de 400.000 habitantes, mesmo em anos de seca extrema, evitando racionamentos severos de água.

Apesar do ceticismo inicial, os rigorosos testes epidemiológicos e microbiológicos provaram que a água reciclada é segura. Nas últimas décadas, não houve qualquer surto de doenças gastrointestinais ou de origem hídrica associado ao consumo de água da NGWRP.

O RPD de Windhoek se tornou uma referência mundial em relação à viabilidade do RPD. A forte campanha de educação pública promovida pelo município reduziu consideravelmente o preconceito da população. No entanto, inicialmente, há registros de que o usuário não rejeitava porque nem sequer conhecia a origem da água.

A conservação dos recursos hídricos e a redução da poluição da água também são impactos positivos consideráveis, embora esperados a partir de um programa de reúso de água deste porte.

Desafios e lições aprendidas

O projeto de reúso potável direto de Windhoek tornou-se uma referência global devido aos seus impactos profundamente positivos, embora também apresente desafios técnicos e de custos significativos.

- O avanço da medicina e da indústria introduziu a complexidade da gestão e remoção dos micropoluentes. Sem osmose inversa, a NGWRP demanda monitorização ultrarresponsiva para garantir que a ozonização e o carvão ativado degradem totalmente estes compostos.
- O modelo “*Take-or-Pay*” favoreceu o investimento privado, mas gerou vulnerabilidade para o município. Em anos chuvosos, o pagamento do teto tarifário de pressiona severamente o orçamento público local.
- O arranjo tecnológico da planta demanda substituição contínua de carvão ativado granular e uso intensivo de oxigênio líquido. A Namíbia enfrenta desafios logísticos e cambiais para importar estes materiais de forma economicamente estável.
- A maior lição operacional é que o reúso potável começa na rede de esgotos. É essencial controlar, fiscalizar e bloquear a entrada de efluentes industriais na rede de esgotos e consequentemente na ETE.
- O princípio das múltiplas barreiras é essencial para se garantir a segurança da qualidade da água.



MODELOS DE NEGÓCIO ASSOCIADOS

Os diferentes modelos de negócio são fruto do planejamento regional, com objetivos claros e metas bem definidas. Neste capítulo, apresenta-se um resumo dos modelos de negócio estudados, associados às características e especificidades locais.

MODELOS DE NEGÓCIO

O modelo de negócio é um instrumento de planejamento e orientação com o objetivo de estruturar um projeto e garantir a sua viabilidade e sustentabilidade, além de permitir o detalhamento de impactos de diferentes naturezas, riscos, custos, envolvimento com *stakeholders* e outros. Cada projeto envolve um elevado conhecimento técnico e tecnológico, diferentes parceiros, adaptação regulatória, análise financeira, avaliação de impactos ambientais, avaliação de cenários e muitos outros aspectos, a depender das particularidades regionais.

Um projeto de reúso de água nasce com objetivos claros que geralmente envolvem a necessidade de solucionar alguma vulnerabilidade hídrica, imediata ou futura, além de atender determinadas demandas locais que envolvem o tipo de gestão e a relação direta da comunidade do entorno com a água.

Em geral, quando se vislumbra a possibilidade do reúso em um novo projeto de uso da água é porque as fontes convencionais já não são mais uma opção fácil. As fontes convencionais superficiais ou subterrâneas, também chamadas de água fresca ou água doce, deixam de ser opção quando estão em falta (escassez), quando sofrem uso excessivo (estresse), quando se encontram em situação de vulnerabilidade pela mudança do clima (secas prolongadas, mais intensas e menos previsíveis), ou ainda quando legalmente prioriza-se o abastecimento público, em detrimento a outros usos, por motivos extremos.

Neste cenário, a AR é considerada uma fonte alternativa ou também denominada fonte de água de origem alternativa. No entanto, a palavra “alternativa” significa algo que “substitui” outra coisa. Neste sentido, o Instituto Reúso de Água vem afirmando e defendendo que:

“A água para reúso deve ser considerada uma das alternativas de fonte de água para diversos fins, assim como as fontes ditas convencionais, e não uma substituição à outras fontes”.

Este entendimento leva, necessariamente, a uma completa mudança de paradigma, vinculada à inclusão da AR no portfólio hídrico regional, como todas as outras fontes de água possíveis, de forma sistematizada e institucionalizada.

Conforme já mencionado, sabemos que, atualmente, há tecnologia e conhecimento para produzir qualquer água a partir de qualquer água. Este entendimento, além de nos dar liberdade para projetos mais audaciosos, nos permite uma enorme flexibilidade para lidar com o novo normal hídrico de uma forma mais moderna e inteligente.

Os modelos de negócio estabelecidos no mundo e abordados no presente estudo encontram-se em diferentes contextos, que tanto levam em consideração a necessidade imediata e isolada de suprir demandas excessivas de água ou demandas básicas de abastecimento em cenários de seca, como definem metas de planejamento integrado em cenários distintos, que não necessariamente estejam relacionados à falta de água.

De fato, nem sempre o impulsionador dos projetos de reúso de água é a vulnerabilidade hídrica, embora seja esse o principal gatilho na maioria dos casos. É importante destacar, que embora o produto final do projeto seja a água, seu principal resultado, muitas vezes, não é o ganho financeiro com a venda do produto “água”. Há diversas externalidades que para o Estado podem ser mais importantes do que o aspecto econômico direto. Para o operador privado o fator financeiro tende a ser o principal e por este motivo, parcerias entre o público e o privado têm rendido bons frutos neste setor.

É importante perceber que cada caso tem as suas particularidades. **Aplicações agrícolas**, por exemplo, envolvem também externalidades relacionadas com a produção de bens alimentares e cuidado com a terra, assim como **aplicações industriais** envolvem externalidades relacionadas com a criação de novos postos de trabalho, desenvolvimento socioeconômico e prosperidade regional. Por outro lado, **aplicações ambientais** tendem a melhorar as condições gerais do ecossistema e podem promover lazer para a comunidade. Ainda, para além da obviedade de o reúso de água para **fins potáveis** matar a sede da comunidade, pode ser um instrumento de confiança e de minimização de casos de doenças vinculadas ao saneamento inadequado.

De certa maneira, conforme observa-se na tabela a seguir, os modelos de negócio acabam por refletir tantos os gatilhos como as externalidades que os envolvem.

O “novo normal hídrico” do planeta refere-se a uma mudança de paradigma global e regional onde a escassez de água, as secas prolongadas e os eventos climáticos extremos se tornaram a norma, e não a exceção.

No início de 2026, O Instituto para Água, Meio Ambiente e Saúde da Universidade das Nações Unidas, publicou o relatório “Falência Hídrica Global”, afirmando que rios, lagos e aquíferos, em diversas regiões do planeta, atingiram um ponto sem retorno, com volumes extraídos sistematicamente superiores à capacidade de recarga natural.

Tabela 3 | Modelos de negócio adotados nos projetos abordados no estudo

Aplicação	País Região	Modelo de negócio	Justificativa
Industrial	Índia Surat	PPP (DBOT): CAPEX público e OPEX privado para a etapa avançada (10 anos de contrato). As indústrias beneficiadas pagam tarifa à companhia pública, que repassa o valor ao operador privado. A companhia ainda é responsável pelo transporte.	Aumento da demanda industrial de água e vislumbre de oportunidade de negócio. Fixação de volume mínimo de consumo para garantir a viabilidade do negócio.
Industrial	Índia Chenai	1º Modelo PPP: Venda direta de efluente secundário para o complexo industrial. O público investiu no tratamento secundário e no transporte do seu efluente secundário (CAPEX e OPEX); o privado, no tratamento avançado (CAPEX e OPEX). 2º Modelo PPP (DBOT): Similar ao Índia/Surat (15 anos).	1º Modelo: Demanda industrial de água como forma de permitir a continuidade da operação em cenário de escassez hídrica crônica. 2º Modelo: Experiência com a operação do 1ª Modelo e potencial do negócio.
Industrial	Chile Antofagasta	PPP (BOT): A primeira planta seguiu modelo do CAPEX público e OPEX privado. O nova planta (em construção) segue o modelo 100% privado (CAPEX e OPEX). A tarifa de AR é paga diretamente pelo complexo industrial ao operador privado.	A forte dependência da dessalinização causava insegurança hídrica, impedia o crescimento industrial e podia gerar conflito entre a comunidade e o setor industrial.
Agrícola	Espanha Alicante	Público: ETE convencional e etapa avançada têm CAPEX da prefeitura e OPEX da empresa municipal de água e esgoto. Esta, por sua vez, é composta por 50% de capital privado e 50% da prefeitura. Associações de irrigação pagam tarifa pela O&M e distribuição.	Falta de água crônica e aumento da demanda para garantir e aumentar a produtividade agrícola. Produz 3 qualidades de água para diferentes aplicações.
Agrícola	Itália Milão	Público: CAPEX e OPEX públicos. Não há pagamento de tarifa para o uso da AR. Nos dois casos, existe um acordo de responsabilidade de custos. Um paga pelo bombeamento e outro, um valor simbólico.	ETEs concebidas e implantadas com a intenção de promover o reúso de água. Essa motivação é baseada no contexto histórico e cultural.
Agrícola	México Atotonilco	PPP (BOT): CAPEX partilhado entre o público (49%) e o privado (51%); OPEX privado em uma concessão de 25 anos. Não há pagamento de tarifa por parte dos agricultores.	ETE concebida e implantada para tratar os esgotos e promover a aplicação segura do esgoto tratado. Demandou forte articulação com agricultores locais.
Urbano e Ambiental	Espanha Barcelona	PPP: CAPEX e OPEX da ETE são de responsabilidade pública. A distribuição é realizada pela companhia de abastecimento de água que é privada. As tarifas de AR (aplicações agrícolas, urbanas e industriais) são recebidas pelo público e repassadas ao operador privado. No caso da aplicação ambiental não há pagamento de tarifa.	O formato de “troca sazonal” não é uma imposição e permite mais flexibilidade para garantir a confiança do usuário. A aplicação ambiental ainda pode funcionar como potável em casos de escassez extrema.
Potável Indireto e Industrial	Singapura	1ª Fase Público: CAPEX e OPEX públicos para demonstrar viabilidade. 2ª Fase PPP (DBOO): CAPEX e OPEX privados sem transferência imediata após término do contrato. Empresa pública garante a compra da AR por longo prazo para viabilizar o negócio.	Produção de água para independência hídrica e política. O projeto nasceu para fins potáveis, mas iniciou com distribuição industrial e passou ao abastecimento doméstico gradualmente.
Potável Indireto	Estados Unidos Califórnia	Público: O modelo dilui os custos entre duas autarquias. Uma oferece o esgoto tratado a custo zero e a outra trata a nível avançado e recarrega os aquíferos, recuperando o investimento com a cobrança da taxa de recarga das companhias locais de abastecimento.	Sistema centralizado para toda a região do condado com o objetivo de garantir a segurança hídrica e o abastecimento doméstico. Contou com subsídios e empréstimos a juros baixos.
Potável Direto	Namíbia Windhoek	PPP (DBOOT): CAPEX e OPEX privado, que vende a água para o município em contrato de longo prazo, com cláusula “Take-or-Pay (paga por volume mínimo mesmo em condições de reservatórios cheios)	Segurança hídrica e abastecimento doméstico de qualidade em região de extrema escassez de água. Referência mundial em reúso potável de água.

A grande questão envolvida nos investimentos de grande porte associados aos projetos de implantação e operação de infraestrutura de reutilização de água, é a viabilidade econômico-financeira do negócio, cuja análise detalhada tem o objetivo de medir a lucratividade do projeto e a movimentação financeira para sua operação. Em outras palavras, o termo “econômico” foca no lucro e na capacidade do negócio de gerar valor a longo prazo, considerando custos, preços e mercado. Por outro lado, o termo “financeiro” foca no fluxo de caixa, garantindo recursos dinâmicos para pagamento de contas do dia-a-dia e possíveis dívidas contraídas no processo.

Neste sentido, os modelos de negócio, geralmente, envolvem parceiros públicos e/ou privados para que juntos, possam alavancar investimentos totais para tirar os projetos do papel. As participações de cada um são bastante variáveis, a depender de diversos critérios internos, para além do porte financeiro das instituições.

Por óbvio, em geral, as parcerias se iniciam em função da partilha de capacidade técnica para o cumprimento total do objeto do projeto e de cada etapa do contrato. De maneira complementar, é preciso identificar e mapear riscos, para definir quem os assume, priorizando a capacidade de gestão de cada parceiro, para cada risco associado ao negócio. No pano de fundo das negociações, o alinhamento estratégico e de mercado é fundamental para avaliar a sinergia corporativa e como a parceria se encaixa nos objetivos de longo prazo de cada organização. Além da capacidade técnica, da relação entre parceiros e do porte financeiro de cada instituição, é preciso avaliar critérios jurídicos e regulatórios, considerando a estabilidade do arcabouço legal regional, para o posterior desenho de uma modelagem contratual clara e adequada aos envolvidos.

Os modelos de negócio apresentados no estudo envolvem tanto os projetos com investimentos 100% públicos como outros com inserção privada em diferentes formatos. A parceria pública apresenta ganhos para o Estado, como por exemplo o maior controle do empreendimento, mas também, o grande desafio de assumir o investimento e os riscos do negócio. Por outro lado, uma relação público-privada bem construída tende a ser exitosa, com uma partilha de riscos adequada. Neste caso, enquanto o setor público garante a solidez e o objeto do projeto, o privado proporciona a segurança aos investidores a longo prazo.

Na verdade, em muitos casos, a PPP tende a ser a única opção para alavancar o projeto, nomeadamente em regiões com baixo ou médio desenvolvimento socioeconômico. Por outro lado, países mais desenvolvidos, em geral, concentram empresas públicas mais sólidas do ponto de vista financeiro.

Em uma PPP, a modelagem contratual do negócio pode envolver um conjunto de siglas que são parecidas mas fazem toda a diferença para a condução do projeto.

- **BOT** (*Build-Operate-Transfer* ou Construir, Operar e Transferir): O parceiro privado é responsável pela construção e operação da infraestrutura; o ativo, que pertence ao Estado é transferido ao final do contrato.
- **DBOT** (*Design-Build-Operate-Transfer* ou Projetar, Construir, Operar e Transferir): O parceiro privado assume também a concepção do projeto, integrando-o à construção e à operação, para otimizar custos.
- **BOOT** (*Build-Own-Operate-Transfer* ou Construir, Deter, Operar e Transferir): Além da construção e da operação, o parceiro privado assume a propriedade legal e os riscos do ativo durante a concessão, transferindo-o ao governo apenas no fim do contrato.
- **DBOO** (*Design-Build-Own-Operate* ou Projetar, Construir, Deter e Operar): O operador privado projeta, constrói e opera, mas permanece como proprietário do ativo mesmo ao final do contrato.
- **DBOOT** (*Design-Build-Own-Operate-Transfer* ou Projetar, Construir, Deter, Operar e Transferir): O operador privado fica responsável por toda a cadeia do projeto e transfere o ativo ao final do contrato.

Os 10 projetos de reúso de água apresentados no estudo, perfazem 12 modelos de negócios, considerando em alguns casos, mais de uma fase (Singapura) ou de um empreendimento (Chenai). Destes 12 modelos de negócio, 8 são em formato PPP e 4, 100% públicos.

No caso das PPP, somente Singapura apostou no modelo DBOO (sem transferência) para a sua segunda fase. Por outro lado, somente o NGWRP da Namíbia adotou o modelo DBOOT. Do restante, os projetos de Atotonilco (México) e Antofagasta (Chile) apostaram no modelo tradicional BOT, enquanto o segundo modelo de Chenai e o modelo de Surat, ambos na Índia, adotaram o DBOT. Ainda, o primeiro modelo de Chenai e o modelo de Barcelona (Espanha) não se caracterizam como os demais, embora contem com a iniciativa privada no projeto. No caso de Chenai, o governo é responsável pela ETE convencional com a venda direta de efluente ao operador privado. Este, por sua vez, é totalmente responsável pela unidade avançada. Em Barcelona, o conjunto ETE + Etapa Avançada é de responsabilidade pública, com distribuição realizada pela concessionária privada.

Aapesar da similaridade entre os projetos PPP, os formatos de contrato e as distribuições de CAPEX e OPEX são diferentes entre os envolvidos e entre os percentuais contratuais, conforme apresentado a seguir.

Tabela 4 | Resumo dos modelos de contrato PPP e partilha de investimentos

País Região	Modelo	CAPEX OPEX
Índia Surat	DBOT	Público Privado
Índia Chenai (1º)	Venda de efluente	-
Índia Chenai (2º)	DBOT	Público Privado
Chile Antofagasta	BOT	Público Privado Privado Privado
México Atotonilco	BOT	Partilhado Privado
Espanha Barcelona	Distribuição privada	-
Singapura (2º)	DBOO	Privado Privado
Namíbia	DBOOT	Privado Privado

No caso dos projetos com investimentos somente públicos, do total de 4, cada um tem um formato diferente. A primeira fase do Programa NEWater (Singapura) teve o objetivo de demonstrar a viabilidade econômico-financeira e trazer investidores para a sua expansão. Por outro lado, o projeto de reúso potável indireto do Condado de Orange na Califórnia é um modelo que partilha os riscos entre dois parceiros públicos em um sistema centralizado que atende toda a região tanto com sistema de esgotamento sanitário como de abastecimento de água de maneira eficiente e segura. Os outros dois são o de Milão (Itália) e o de Alicante (Espanha). O primeiro é altamente inspirador, pelo seu contexto cultural e social, que nem sequer conta com pagamento de tarifa pelos agricultores beneficiados. O segundo embora seja considerado um projeto com investimento público, a empresa municipalizada de água e esgoto tem parte do seu capital de origem privada.

Uma observação também interessante refere-se à modalidade do projeto de reúso e a sua relação com o modelo de negócio. Os 3 projetos da modalidade industrial contam com a inserção privada nos investimentos. Dos 3 projetos da modalidade agrícola, o de Milão e o de Alicante contam com parcerias somente públicas, enquanto o de Atotonilco faz uso do modelo PPP. Dos 3 projetos de reúso potável, dois são atualmente no formato PPP e um, no formato 100% público. Por fim, a modalidade urbana e ambiental de Barcelona é realizada em projeto no formato PPP.

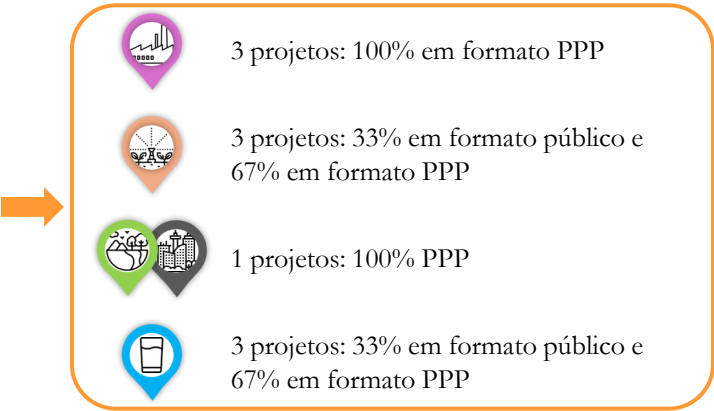
Todos os projetos apresentados no estudo contam com modelos de negócio diferentes, embora similares. As fontes de investimentos de cada projeto, as parcerias que os envolvem e os modelos de negócio adotados são estruturados em função dos objetivos de cada empreendimento, das particularidades regionais e das características locais.

“Não há receita para o sucesso do empreendimento e sim, experiências para inspirá-lo; este é o grande objetivo do estudo”.

A concepção de um novo projeto deve levar em consideração uma infinidade de aspectos conforme mencionado. A avaliação séria e responsável do conjunto de fatores levará à decisão mais assertiva e ao sucesso do empreendimento. Mas, nem sempre a mola propulsora é a falta de água e nem sempre o principal ganho é financeiro.



Figura 18 | Relação entre modalidade de reúso e modelo de negócio





SÍNTESE DE DADOS

A síntese de dados está apresentada em tabela comparativa para facilitar o entendimento geral e permitir uma análise mais profunda dos aspectos gerais de cada caso apresentado e discutido no estudo.

Os dados de cada projeto estão apresentados nessa seção em conjunto e agrupados para facilitar a visualização e a comparação. Não se recomenda uma comparação direta de números (investimentos, capacidade e distância de transporte), uma vez que cada projeto envolve particularidades regionais, sociais, ambientais e econômicas muito específicas. Além disso, as modalidades envolvidas em cada projeto e suas capacidades, dão o tom do nível de qualidade de água requerida e do porte do empreendimento. No entanto, há comparações mais adequadas que podem favorecer o entendimento, a visualização e a reflexão:

- Nota-se que há grandes diferenças em relação à qualidade da água requerida para cada modalidade e mesmo quando a comparação é feita na mesma modalidade. Adotando-se o arranjo tecnológico como exemplo, cita-se a modalidade agrícola. No projeto de Alicante (Espanha), o arranjo tecnológico é mais avançado do que o de Milão (Itália), que por sua vez, se assemelha ao de Atotonilco (México).
- A tecnologia da osmose inversa está presente em praticamente todos os projetos de aplicações potáveis e industriais, exceto no caso da Namíbia, que adota o sistema de multibarreras e é referência mundial no reúso potável direto.

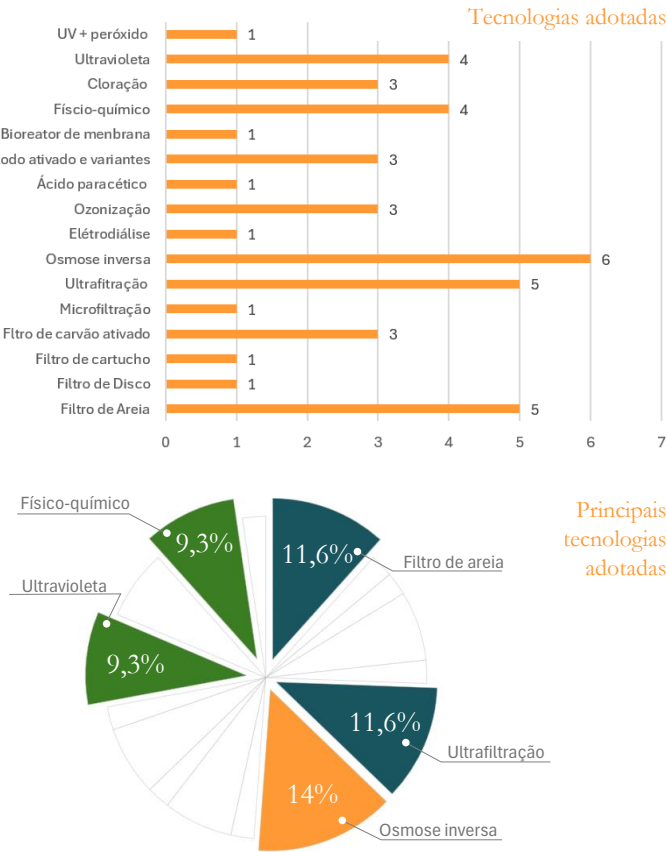


Figura 19 | Frequência das tecnologias adotadas

- A capacidade total de cada projeto varia entre o mínimo de 0,24 m³/s na Namíbia e o máximo de 7,32 m³/s em Singapura.

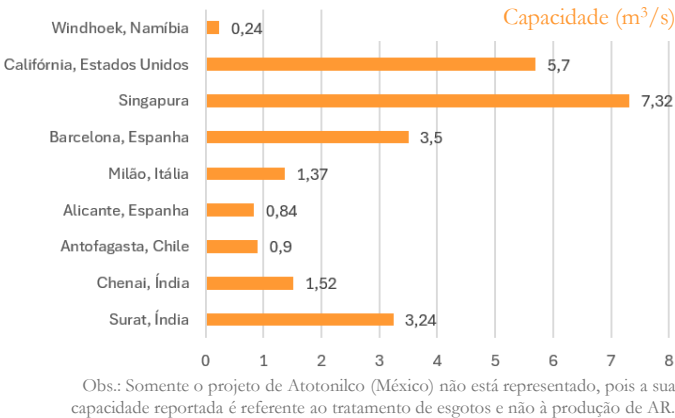


Figura 20 | Capacidade de cada projeto

- As distância de transporte apresentam uma variação enorme, consolidando a ideia de que mesmo que ela se mostre como um dos fatores mais onerosos, a necessidade dita a decisão. Destaca-se então o sistema de transporte por túneis de Singapura, com 146 km de extensão e profundidade de 35 a 55 m.
- Os custos são sempre um fator decisivo e variam consideravelmente entre os projetos. Não se julga adequada a comparação direta entre eles, em função da moeda, do período do investimento e das características do negócio. Destaca-se o projeto da Califórnia, com investimento total de mais de 1 bilhão USD, totalizando mais de 1000 USD/habitante.
- As tarifas de AR variam entre o mínimo de 0,16 USD/m³ para aplicação agrícola em Alicante, até 2,50 USD/m³ para aplicação potável em Windhoek. Destaca-se que em Milão não há pagamento de tarifa.
- Embora a maioria dos projetos tenha a escassez de água como gatilho, o projeto de Milão segue uma tendência cultural e o de Singapura, o objetivo de independência geopolítica.
- A participação dos parceiros públicos e privados no âmbito dos investimentos foi objeto de análise do capítulo anterior, mas aqui também merece um comentário. Nem sempre a parceria público-privada se fez necessária, mas aconteceu na maioria dos casos estudados. Somente os projetos de Singapura (1ª fase), Califórnia, Alicante e Milão usaram investimentos totalmente públicos; os dois primeiros se encaixam na modalidade potável e os dois últimos, na modalidade agrícola. Todos os projetos de aplicação industrial adotaram a participação privada.

Tabela 5 | Síntese de dados

País Região	Modalidade	Capacidade do projeto de reúso	Arranjo tecnológico da unidade avançada	Transporte
Índia Surat	Industrial	- Total atual = 3,24 m³/s 1º projeto = 0,46 m³/s	Filtro de areia/Filtro de discos, + membranas de ultrafiltração + osmose inversa + Filtro de carvão ativado	5 km em tubulação (responsabilidade da companhia pública)
Índia Chenai	Industrial	1º = 0,48 m³/s 2º = 1,04 m³/s Total em operação: 1,52 m³/s	Filtro de cartucho + osmose inversa + ozonização (nos dois modelos)	60 km e 28 km para os dois complexos do 2º Modelo (responsabilidade da companhia pública)
Chile Antofagasta	Industrial	A capacidade total é de 0,9 m³/s, considerando as duas ETEs em série	1ª Fase: lodo ativado + cloro 2ª Fase (em construção): MBR + osmose inversa	16 km entre as duas ETEs. A rede de distribuição do projeto completo soma 24 km para a zona de La Negra e 24 km para Mantos Blancos.
Espanha Alicante	Agrícola	A capacidade máxima das águas 2 + 3 = 0,84 m³/s. Água 1 não é usada em separado	- Coagulação-floculação-filtração de areia + UV 1 + ultrafiltração 2 + osmose inversa	A distribuição da AR (rede dupla) até os reservatório centrais são de responsabilidade da companhia; dos reservatórios à cada área irrigada, é dos agricultores..
Itália Milão	Agrícola	A capacidade total de fornecimento é de 1,37 m³/s	Lodo ativado com nitrificação e desnitrificação + desinfecção (filtro de areia e UV ou ácido paracético)	1,3 km de bombeamento e 300 km de canais por gravidade
México Atotonilco	Agrícola	A capacidade total da ETE (e não do reúso) é de 35 m³/s	1ª linha (para descarte): primário quimicamente assistido + cloro 2ª linha (reúso): lodo ativado convencional + cloro	Variável em função da vazão destinada aos canais de irrigação e à captação consoante à demanda
Espanha Barcelona	Urbano e Ambiental	A capacidade total de fornecimento é de 3,5 m³/s	- Físico-químico + filtração + UV (reposição de vazão e restauração áreas úmidas) 1 + UF + OI (irrigação agrícola, usos urbanos e potável indireto (eventual) 2 + eletrodíálise inversa (intrusão salina e irrigação)	Ambiental (manutenção da vazão do rio): 16km de extensão ou 8 km a montante da captação para abastecimento doméstico, configurando o reúso potável indireto (extremo). Urbano: caminhão pipa ou tubulação para reservatórios
Singapura Singapura	Potável Indireto (Superficial)	A capacidade total em operação é de 7,32 m³/s e cobre 40% da demanda	Etapa convencional: Lodo ativado. Etapa avançada: MF + OI + UV	Sistema de túneis de transporte com um total de 146 km de extensão.
Estados Unidos Califórnia	Potável Indireto (Subterrâneo)	A capacidade total é de 5,70 m³/s	Microfiltração + osmose inversa + desinfecção por oxidação avançada (UV + peróxido de hidrogênio).	A ETE é localizada junto à unidade avançada. A água abastece o aquífero em vários pontos e as companhias locais de água captam para tratamento.
Namíbia Windhoek	Potável Direto	A capacidade inicial era de 0,05 m³/s. A capacidade atual é de 0,24 m³/s (cobre 35% da demanda)	Pré-oxidação + ozônio + físico-químico + filtro de areia, ozonização + filtro de carvão ativado + filtro de carvão ativado granular + UF + Cloro	Não há informação

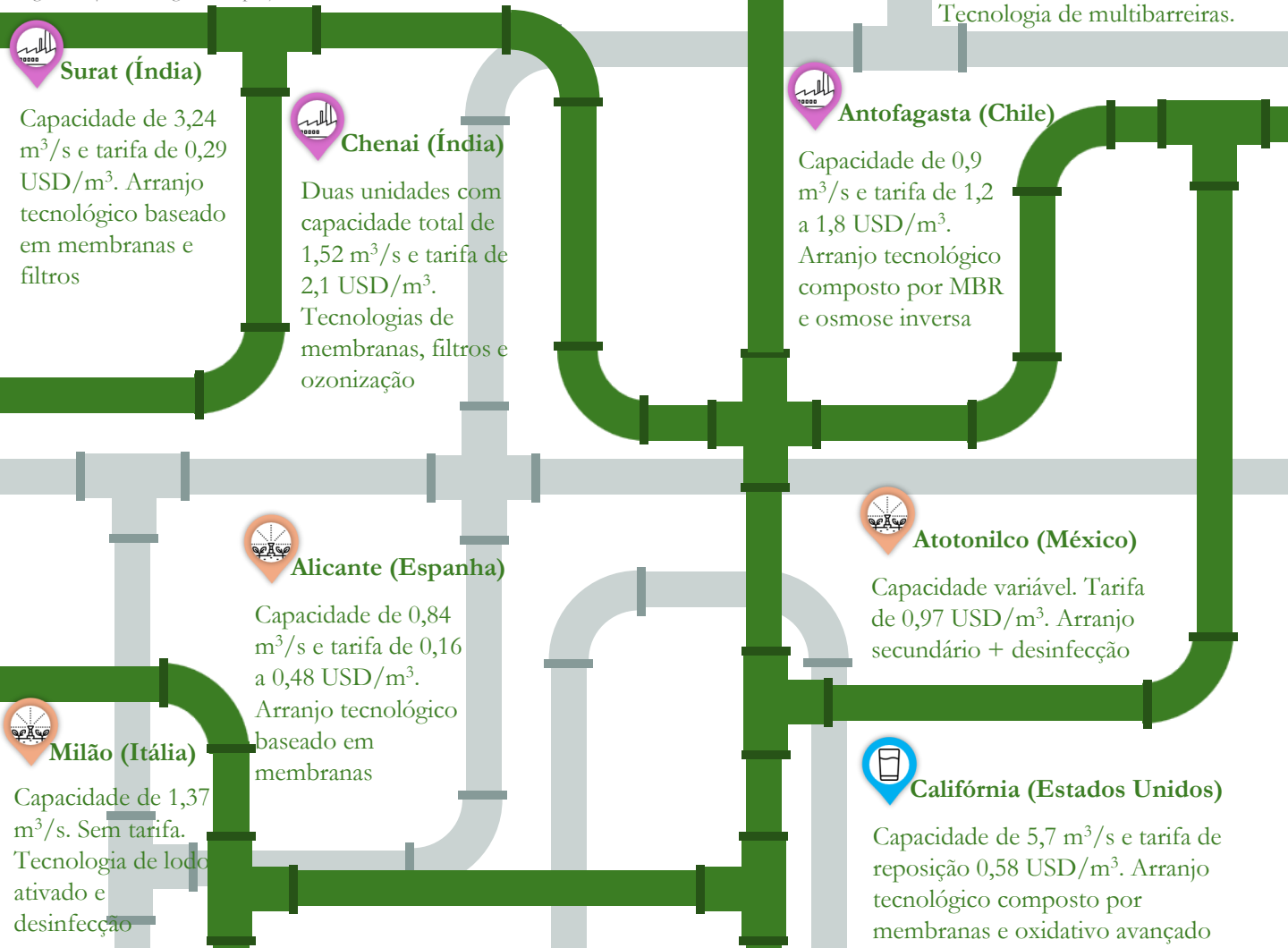
Gatilho	Especificidades	CAPEX OPEX Tarifa
Reduzir a dependência das fontes convencionais e diversificar o portfólio hídrico para o aumento da demanda	Em 2020 a operação do projeto gerou um lucro de 176 mil USD.	CPEX 1º projeto, com capacidade para 0,46 m³/s (2014): 1,4 milhões USD. OPEX: 1,3 milhões USD. Tarifa: 0,29 USD/m³.
O 1º Modelo foi motivado pela demanda de uma indústria que em 2005 parou a planta por 35 dias por falta de água.	O comércio total da AR gera uma receita para a companhia de 1,2 milhões USD/mês	1º Modelo (0,35 m³/s) – CAPEX: 18,5 milhões USD. OPEX: 9,3 milhões USD/ano. Tarifa: 0,49 USD/m³ 2º Modelo (1,04 m³/s) – CAPEX: 104,67 milhões USD. OPEX: 15,65 milhões USD/ano. Tarifa: 2,1 USD/m³.
Diversificar a matriz hídrica dependente da dessalinização e da água subterrânea das cordilheiras.	A tarifa de AR é similar à de água potável (1,6 USD/m³) e inferior à da água dessalinizada (2,0 USD/m³).	- CAPEX 1ª Fase com capacidade para 0,9 m³/s (1968): 45,32 milhões USD. OPEX (não divulgado). Tarifa: 1,2 e 1,8 USD/m³. - CAPEX (+ OPEX indexado) 2ª Fase com capacidade para 0,9 m³/s (2024): 460 milhões USD. Mantém tarifa.
Diversificação da matriz hídrica em função da seca crônica e do elevado consumo, além da superexploração das águas subterrâneas	O contrato com os agricultores definiu atualização das tarifas de acordo com o índice de preços ao consumidor com o objetivo de manter as contas em equilíbrio.	- CAPEX (2013): 6,4 milhões USD. OPEX: 0,028 USD/m³ - CAPEX (2013): 20,9 milhões USD. OPEX: 0,044 USD/m³ Tarifa: 0,16-0,31 USD/m³. - CAPEX não divulgado. OPEX: 0,278 USD/m³. Tarifa: 0,37-0,48 USD/m³.
Manter a tradição medieval de usar as águas residuais dos canais de irrigação para a agricultura	ETE Nosedo: agricultores pagam valores simbólicos pelo fornecimento. ETE San Rocco: pagam pelo bombeamento para os canais principais de irrigação	ETE San Rocco: CAPEX (ano 2004) de 168 milhões USD e OPEX fixado em 0,143 USD/m³. ETE Nosedo: CAPEX (ano 2003) de 170 milhões USD e OPEX fixado em 0,157 USD/m³. Não há cobrança de tarifa.
Tratamento dos esgotos, melhoria da qualidade hídrica e reutilização segura das águas residuais na agricultura irrigada	Os agricultores não pagam tarifa pelo uso da AR e sim, somente pela infraestrutura local e individual de captação	O CAPEX (ano 2017) foi de 686 milhões USD. A tarifa cobrada pelos usuários dos serviços de coleta e tratamento de esgotos da zona metropolitana (0,97 USD/m³) cobre os custos de CAPEX e OPEX (0,092 USD/m³) da ETE.
Escassez hídrica sazonal em função dos verões quentes e secos cada vez mais recorrentes	O projeto de reúso de água de Barcelona permite múltiplos usos em um formato de “troca sazonal” a partir da substituição da fonte de água para diferentes usos	O CAPEX total da ETE foi de quase 200 milhões USD (inicialmente previstos em 143 milhões USD), divididos em: 21,8 milhões USD para a remoção de nutrientes + 32,2 milhões USD para a unidade de tratamento avançado + 93 milhões USD para a rede de distribuição de AR + 22,2 milhões USD para a estação de eletrodialise inversa + 28 milhões USD para a barreira contra a intrusão de água salgada do mar.
Dependência geopolítica, limitações de armazenamento e desenvolvimento da tecnologia de membranas	A nova planta (3,29 m³/s) será integrada a uma central de resíduos sólidos para uso de energia elétrica co-gerada	A grandiosidade da estrutura e o seu faseamento ao longo do tempo impedem uma análise financeira mais detalhada. Os custos de CAPEX das plantas privadas mais recentes não são confidenciais. Ver dados na descrição do projeto.
Escassez de água e dependência de fontes externas, necessidade de bloquear a intrusão salina e desejo de evitar a construção de novos emissários de esgoto.	Maior sistema de reúso potável indireto do mundo com recarga de aquífero subterrâneo e abastece um milhão de habitantes (35% da demanda)	CAPEX acumulado totaliza 933 milhões USD: (2008) 481 milhões USD; (2015) 142 milhões USD; (2023): 310 milhões USD. O OPEX varia de 0,39 a 0,42 USD/m³ e a tarifa de reposição é de aproximadamente 0,58 USD/m³.
Principalmente o esgotamento das fontes convencionais e a distância de rios perenes	Primeira planta de reúso potável direto do mundo e referência por garantir qualidade potável sem o uso de membrana de osmose inversa.	O CAPEX (2002) foi de aproximadamente 15,2 milhões USD. O OPEX varia de 0,69 a 0,82 USD/m³ e a tarifa de AR paga pelo município tem um histórico de variação de 0,82 a 2,50 USD/m³.

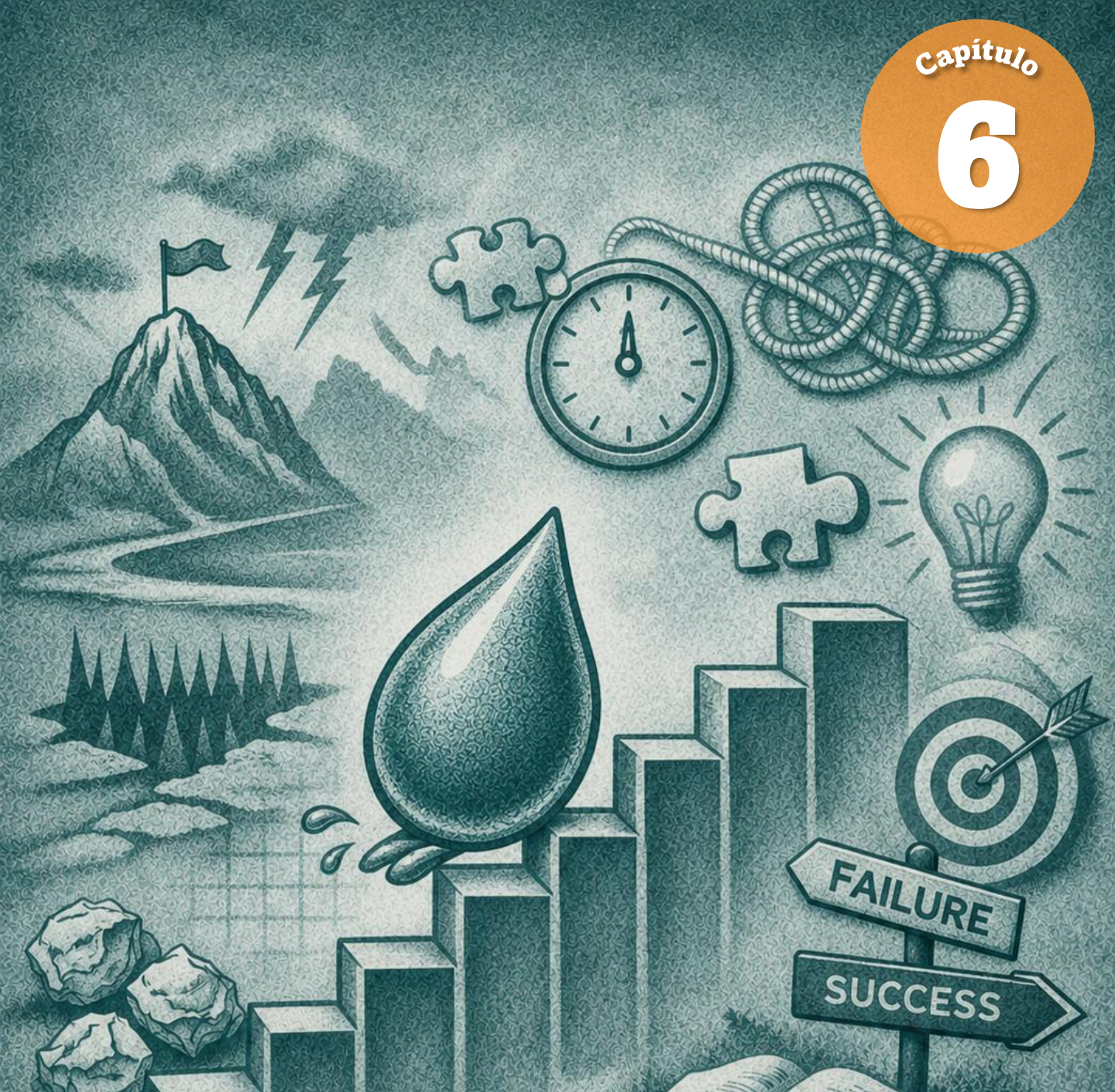
A síntese de dados facilita a compreensão e se mostra relevante para uma reflexão geral em relação às características específicas e aos principais aspectos que levam aos desenhos e concepções de cada projeto.

Custo é um dos principais aspectos, mas não é o único. Escassez hídrica é um dos principais gatilhos, mas também não é o único. Tecnologias de membranas são conhecidas como unidades que resultam em água de melhor qualidade, mas nem sempre são necessárias. Arranjos tecnológicos compactos podem parecer mais seguros e estratégicos, mas um conjunto de multibarreiras pode ser mais vantajoso. Pequenas extensões de transporte geralmente são mais econômicas, mas às vezes, as longas distâncias são a única opção. Custos extremamente elevados podem parecer inviáveis, mas uma análise de viabilidade econômico-financeira e parcerias adequadas podem fazer o projeto sair do papel. Um governo comprometido pode estruturar um quadro regulatório adequado, criar tarifas atraentes e impor medidas eficazes para o incentivo da prática.

É neste sentido que sugere-se uma reflexão completa sobre os projetos apresentados e não somente baseada em custos, como muitas vezes tende a ser.

Figura 21 | Resumo geral dos projetos





DESAFIOS E LIÇÕES APRENDIDAS

As experiências adquiridas nas modalidades de negócio apresentadas podem impulsionar novos projetos. No entanto, os desafios e as lições aprendidas são fundamentais para evitar erros e pavimentar o caminho do sucesso.

DESAFIOS E LIÇÕES

Toda experiência de um novo projeto traz consigo desafios a serem ultrapassados e ensinamentos para guiar os novos passos com mais chances de sucesso. Quando ambos são compartilhados, viram inspiração e sinalizadores para que novas soluções e novos projetos sejam mais assertivos.

Os desafios são obstáculos que exigem esforços, estudo e maturação para serem vencidos, quando a solução precisa, necessariamente, ser desenvolvida. Por outro lado, as lições aprendidas significam o conhecimento prático obtido com as experiências próprias e de outros, considerando erros e acertos, para garantir maiores chances de êxito.

No entanto, há que se perceber que nem sempre os desafios e as lições aprendidas cabem perfeitamente nos novos projetos em concepção, mas certamente apontam para caminhos menos tortuosos.

Neste sentido, o objetivo deste capítulo é criar este ambiente de percepção do que foi desafiador em determinado projeto e as soluções que mais se adequaram a cada cenário.

Desafios em alguns casos podem ser solução em outros. Semelhanças ambientais, culturais e socioeconômicas podem indicar bons caminhos a serem seguidos como exemplo. Erros partilhados abertamente podem evitar novos equívocos e inspirar novas soluções. Os custos transparentes de determinados projetos podem ser balizadores para novos negócios. As barreiras consideradas intransponíveis até podem ser vencidas quando se tem um conhecimento profundo do tema.

Na figura a seguir (próxima página), os desafios e as lições aprendidas estão apresentadas em 3 grandes nuvens de temas. Em cada uma, eles estão interligados entre si, de modo a permitir um entendimento mais amplo.



Custos, parcerias, incentivos, regulamentação e modelos de negócio



Transparência, fiscalização, articulação, monitoramento e aceitação



Logística, concepção, projeto, arranjo tecnológico e complexidade operacional

No conjunto de projetos apresentados no presente estudo, há empreendimentos implementados no século passado, outros no início do século e outros mais recentes. A operação desses projetos ao longo de anos e décadas vem produzindo um copo de conhecimento profundo para o avanço mais assertivo da institucionalização do reúso de água no mundo.

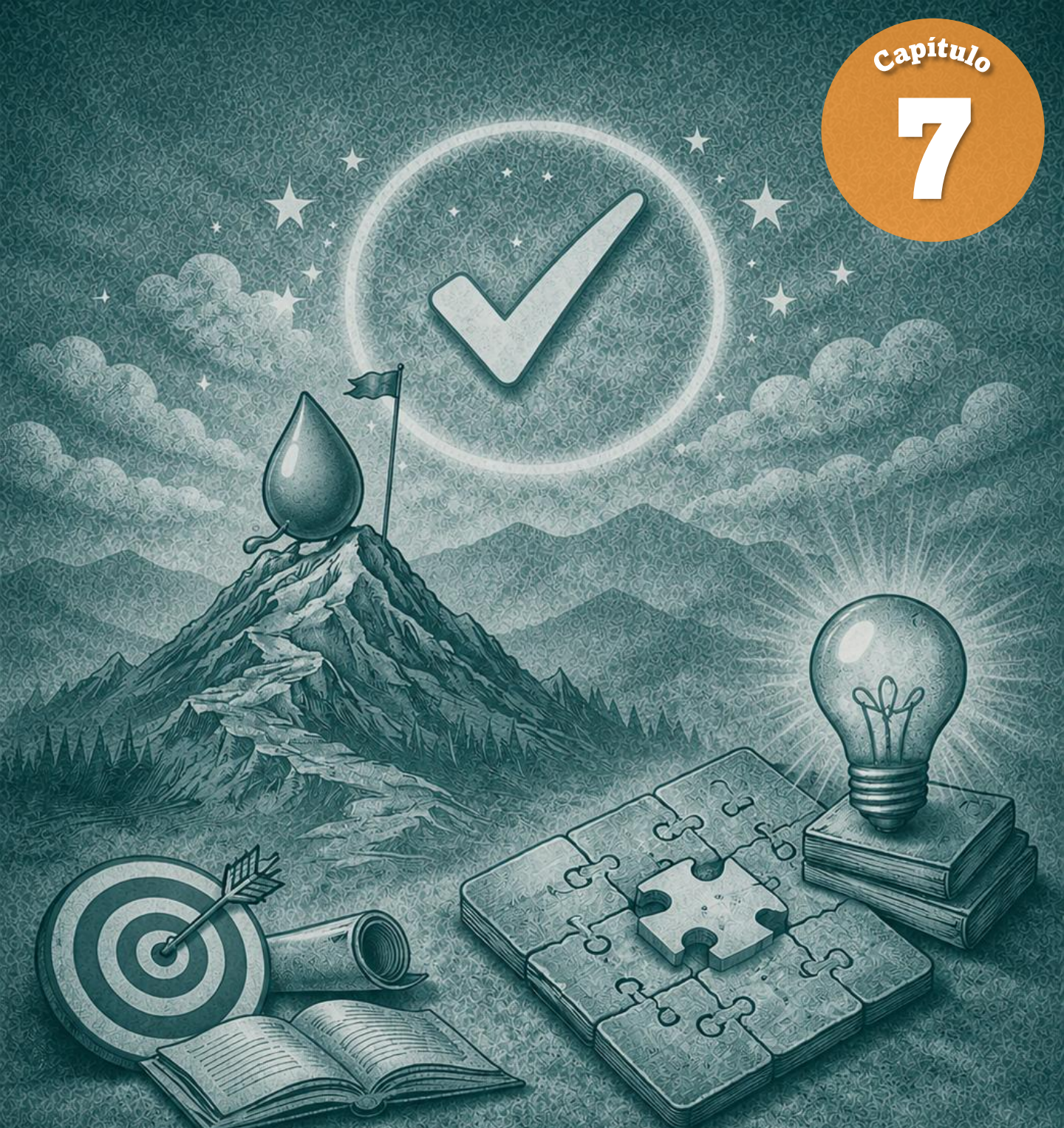
As experiências acumuladas em determinada região servem de incentivo para novos empreendimentos ou avanços internos, conforme apresentado em vários casos aqui descritos: Chennai na Índia, Antofagasta no Chile, Singapura, Windhoek na Namíbia, Condado de Orange na Califórnia e outros.

É claro perceber que diante de tantos projetos exitosos no mundo, as experiências compartilhadas, com seus desafios e lições aprendidas podem impactar fortemente a institucionalização da prática em diversas regiões do planeta. Mas porque devemos percorrer este caminho de aplicação sistemática da prática?

“Atualmente, é praticamente um consenso técnico-científico que fontes de água não convencionais devem ser inseridas no portfólio hídrico regional promovendo a sua diversificação para fins de garantia de segurança hídrica. E neste caso, o reúso de água tende a ser o principal elemento dessa solução.

O reúso de água não é uma prática nova e já é realizada há quase 5 mil anos de maneira nem sempre regulamentada e segura, do ponto de vista sanitário e ambiental. Atualmente, o conhecimento técnico-científico acumulado, bem como toda a evolução tecnológica que a sociedade acompanhou ao longos dos anos, permite não somente a sua institucionalização segura, como a oportunidade de garantir segurança hídrica em regiões mais vulneráveis do ponto de vista hídrico e ambiental.

O novo normal hídrico nos vem impondo severas restrições de acesso à água, que podem ser sanadas com a sistematização responsável do reúso de água. Neste sentido, os desafios e lições aprendidas podem ser impulsionadores de novos projetos e podem quebrar paradigmas antigos relacionados a qualidade, custos, necessidade e outros.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que o estudo completo traz de inspirador e como ele abre novos caminhos para o avanço da prática no Brasil? Essa e outras perguntas estão respondidas neste capítulo, embora uma reflexão individual e partilhada entre equipes profissionais seja incentivada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O “**Reúso de Água na Prática**” apresentou e discutiu aspectos técnicos, tecnológicos, ambientais, sociais e econômicos de 10 projetos de reúso de água em operação no mundo, perfazendo um atlas de experiências internacionais. Com o objetivo de produzir e partilhar conhecimento no setor, o presente relatório envolve diferentes projetos, concebidos, projetados, implantados e operados em distintos contextos espaciais, geográficos e climatológicos. Todos eles apresentam particularidades que permitem não somente a construção de um conhecimento mais amplo sobre o estado da arte do mercado do reúso de água no mundo, como incentivam e inspiram novas concepções no Brasil.

Embora o arcabouço legal brasileiro ainda seja frágil neste tema, os projetos de reúso de água têm ganhado fôlego no país, em função de uma necessidade absoluta de diversificação dos portfólios hídricos regionais. E neste caso, o próprio estudo pode incentivar o desenvolvimento e o fortalecimento do quadro regulatório nacional, demonstrando a sua necessidade. A segurança jurídico-administrativa permite um avanço mais sólido por parte dos investidores, assim como a segurança sanitária-ambiental permite uma relação de confiança entre produtores e usuários de AR. Este cenário tende a alavancar os projetos com suas próprias particularidades, mas com o mesmo propósito: o de garantir água em quantidade e qualidade para os diferentes usos.

Fatores tidos como inviabilizadores de empreendimentos de reúso de água, em um debate raso, se mostraram viáveis do ponto de vista econômico, considerando modelos de negócio que encorajaram e permitiram o avanço. Extensões elevadas de tubulação de transporte de AR e arranjos tecnológicos complexos e avançados nem sempre são necessários, mas quando se apresentam como a única opção, permitem o desenvolvimento de modelos de negócio que viabilizam o empreendimento, mesmo em países da América Latina, como é o caso do Chile.

A rejeição social da prática, até mesmo para aplicações potáveis, também tida como uma grande barreira, é um desafio transponível, como mostraram os projetos de Singapura e do Condado de Orange na Califórnia.

Qualidades de água extremamente exigentes (aplicações industriais e potáveis) podem ser alcançadas com arranjos tecnológicos adequados, mesmo em regiões de mais baixo desenvolvimento socioeconômico como é o caso da Índia e da Namíbia. Nestes casos, o planejamento e a necessidade foram fundamentais; na Namíbia, a confiança no conhecimento científico ainda foi crucial para o uso mais exigente, como o reúso potável direto.

Há ainda que se destacar os projetos de reúso agrícola que, em geral, são menos exigentes em termos de qualidade, mas podem gerar grandes resultados socioeconômicos para o Estado. Milão, Alicante e Atotonilco demonstraram sua importância nos seus cenários particulares, cada um com as suas especificidades.

Já o caso de Barcelona demonstra como uma articulação entre os parceiros envolvidos pode garantir a segurança hídrica regional para diversos usos, considerando até a aplicação potável quando necessária. A região adotou a diversificação da sua matriz hídrica de maneira aplicada e extremamente objetiva, ao se planejar para o uso da AR em diferentes situações e modalidades, consoantes ao cenário de vulnerabilidade hídrica apresentado em cada período do ano, com a sua respectiva sazonalidade.

Os gatilhos para o desenvolvimento dos projetos são muitos, embora a vulnerabilidade hídrica seja o principal. Em geral, esta condição está associada às secas crônicas regionais, às mudanças climáticas, ao consumo excessivo de água e ao crescimento populacional. No caso dos países em desenvolvimento, acresce-se a isso, a necessidade de reduzir a poluição hídrica como o caso de Atotonilco (México) e Antofagasta (Chile). Regiões que ainda não resolveram suas questões básicas de saneamento contam com este agravante, ao mesmo tempo que têm a oportunidade de envolver o reúso de água no planejamento das infraestruturas de água e esgoto.

É exatamente neste contexto que o Brasil pode criar um planejamento de nação para se tornar um exemplo mundial para outros países em desenvolvimento. Trata-se da oportunidade de planejar o reúso de água em concomitância com o alcance dos índices de esgotamento sanitário e abastecimento de água definidos no contexto do Novo Marco Legal do Saneamento.

Para isso, é preciso enxergar as oportunidades, estabelecer metas de curto, médio e longo prazos e criar estrutura jurídico-administrativa para permitir incentivos e investimentos. De maneira geral, é preciso

CORAGEM

para agir, se posicionar como protagonista da transformação e estabelecer a identidade nacional da institucionalização do reúso de água no Brasil.

Produzir conhecimento, permitir reflexão e incentivar o avanço da prática é o grande objetivo do presente estudo.



ESPAÇO DO PATROCINADOR

Estão apresentados nesta seção, dados gerais das instituições que viabilizaram a realização do estudo, para garantir uma circulação gratuita do documento.

A NeoAcqua é uma empresa brasileira de soluções em tratamento de água e saneamento, com duas unidades (sede em São Paulo e unidade fabril em Santa Catarina) e sistemas instalados em todo o Brasil. Ao longo de seus 25 anos de trajetória, a companhia consolidou sua atuação sustentada por um time multidisciplinar, cuja competência e diversidade de conhecimentos abrangem todas as necessidades de um projeto. Em uma só frente, reunimos a concepção customizada de cada projeto, seu dimensionamento, fornecimento, montagem e, quando aplicável, a operação de Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Esgoto (ETE) e sistemas de reúso de esgoto e águas cinzas, para clientes dos setores industrial, de construção civil, imobiliário, shopping centers, centros de distribuição e logística e concessionárias municipais.

A atuação da NeoAcqua vai além da engenharia de tratamento: a empresa acompanha cada cliente desde a estruturação conceitual do projeto até sua viabilização financeira, com modelagens de precificação e formatos com opções como *Turn Key* e *BOT (Build-Operate-Transfer)*. Essa abordagem permite adaptar cada projeto ao contexto e à capacidade de investimento do cliente (de indústrias e incorporadoras a consórcios que atendem municípios e concessionárias de saneamento).

A NeoAcqua foi pioneira ao trazer para o Brasil o conceito de reúso descentralizado, implantando os primeiros sistemas desse tipo no país. Diferentemente de estações centralizadas de grande porte, suas soluções são modulares e compactas, podendo ser instaladas próximas ao ponto de geração e de uso da água, o que reduz a necessidade de longas redes de coleta e distribuição e agiliza a implantação em empreendimentos de diferentes portes, em todo o território nacional.

Desde 2001, a NeoAcqua já implantou mais de 210 ETACs (estações de tratamento para reúso de água cinzas) no Brasil, oferecendo hoje uma capacidade aproximada de 900 mil litros de água de reúso por dia (900 m³/d) para fins não potáveis. Este montante de água que deixa de ser extraída do meio ambiente, todos os dias, equivalente ao abastecimento não potável de cerca de 20 mil pessoas.

Os sistemas são desenvolvidos sem adição de produtos químicos, com base na degradação natural da carga orgânica, o que simplifica a operação e reduz o consumo de insumos ao longo da vida útil do empreendimento. Para a NeoAcqua, o reúso de água está sempre entre as possibilidades consideradas desde a concepção de cada projeto, com foco na sustentabilidade ambiental e no melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis.





Um dos principais exemplos disso é a utilização, desde 2012, de água de reúso proveniente do projeto Aquapolo, no ABC Paulista. Resultado de uma parceria pioneira, o empreendimento transforma efluentes domésticos tratados em água de qualidade industrial, representando a maior iniciativa de reúso de água da América do Sul.

No Rio de Janeiro, a Braskem também avança em uma parceria com a concessionária Águas do Rio (Grupo Aegea) para abastecer suas unidades industriais com água de reúso produzida a partir do tratamento de efluentes sanitários. Além de reforçar a segurança hídrica da operação, a iniciativa contribui para ampliar a infraestrutura de saneamento da região, beneficiando cerca de 266 mil pessoas.

Por meio de projetos como esses, a Braskem demonstra como a inovação, a colaboração e a gestão eficiente dos recursos naturais podem impulsionar a competitividade industrial e contribuir para uma economia cada vez mais sustentável.



De forma inédita no Brasil, criamos uma Aliança Estratégica para pesquisa, inovação e capacitação visando a universalização da coleta e tratamento de esgoto em Minas Gerais, junto à Copasa e a UFMG.

Em 2026, a empresa iniciou o Plano Estratégico de Reúso de Água de Minas Gerais, com o objetivo de estruturar uma base estratégica, técnica e econômico-financeira que permita identificar, avaliar, priorizar e viabilizar oportunidades de reúso de água e disposição de efluente tratado no solo. Como desdobramento dos planos, a empresa tem atuado em projetos de engenharia para implementação de sistemas de tratamento que possibilitem alcançar a qualidade requerida para reúso.

A convergência entre pesquisa, participação na construção do ambiente regulatório e atuação em projetos aplicados constitui um dos principais diferenciais do CR ETES e consolida a empresa como referência técnica em reúso de água e economia circular aplicada ao saneamento, com visão integrada sobre a recuperação e o aproveitamento sustentável dos recursos presentes no esgoto

A Braskem é a maior produtora de resinas termoplásticas das Américas e a sétima maior petroquímica do mundo, fornecendo soluções da química e do plástico que estão presentes em diversas áreas do cotidiano. Com 39 unidades industriais e operações no Brasil, Estados Unidos, México e Alemanha, a companhia atua na base da cadeia produtiva, fornecendo insumos essenciais para setores como saneamento, infraestrutura, saúde, alimentação, mobilidade e bens de consumo, atendendo clientes em mais de 70 países.

A gestão responsável da água é um tema estratégico para a Braskem. Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente pressão sobre os recursos hídricos, a companhia busca alcançar 100% de segurança hídrica até 2030, com foco na eficiência, na circularidade e no uso de fontes alternativas.

O Centro de Referência em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – CR ETES é uma empresa de base tecnológica, constituída em 2021 por pesquisadores egressos da Universidade Federal de Minas Gerais. Nossa missão é contribuir para a transição do setor de saneamento nacional rumo à economia circular.

Nos diferenciamos pela capacidade de agregar os fundamentos técnicos de engenharia com pesquisa e inovação, formando uma sólida base técnico-científica para atuar em projetos simples ou complexos. Nossa expertise abrange estudos, planos, projetos e treinamentos relacionados a tratamento de esgoto e recuperação de recursos, como reúso de água, lodo e biogás.

O reúso de água permeia nossa trajetória, com destaque para assessoria técnica durante a estruturação das regulamentações de reúso nos estados de Minas Gerais e Mato Grosso. No âmbito de estudos e planejamento, o CR ETES atuou em um plano estratégico de saneamento abrangendo 27 municípios mineiros, em que foi responsável pela definição de rotas tecnológicas de tratamento de efluentes aplicáveis às realidades locais.

A GIGWATER desenvolve soluções completas para tratamento de água, efluentes e reúso industrial, atuando desde a engenharia até a fabricação e o comissionamento dos sistemas. Com projetos personalizados para diferentes segmentos industriais, a empresa alia conhecimento técnico, fabricação e foco em desempenho para entregar soluções que promovem segurança operacional, eficiência hídrica e redução de custos.

Ao longo de mais de 7 anos de atuação, a GIGWATER soma mais de 250 clientes atendidos, e mais de 300 projetos desenvolvidos em todo o Brasil. Somente em 2025, os sistemas projetados pela empresa contribuíram para o tratamento, recuperação e reúso de mais de 1,6 bilhão de litros de água, evidenciando o impacto positivo da engenharia aplicada na gestão dos recursos hídricos.

Entre os projetos mais recentes está uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) para reúso implantada em uma indústria de bebidas.



O sistema, projetado e fabricado pela GIGWATER, possui capacidade para tratar até 25 m³/h de efluente, convertendo-o em água de reúso para aplicações como limpeza de pátios, descarga de sanitários e irrigação de áreas verdes, reduzindo a necessidade de captação de água pela indústria.

Operando em sua capacidade nominal, o sistema tem potencial para recuperar aproximadamente 219 milhões de litros de efluente por ano, que deixam de ser destinados aos corpos hídricos e passam a integrar um ciclo interno de reaproveitamento. O projeto demonstra como soluções de reúso bem dimensionadas podem transformar um efluente em um recurso estratégico, contribuindo simultaneamente para a preservação dos recursos hídricos, a redução dos custos operacionais e o fortalecimento das práticas de sustentabilidade na indústria.



A SANEARES é uma empresa de engenharia ambiental, infraestrutura e saneamento, especializada no desenvolvimento de estudos e projetos de alta complexidade, com atuação orientada pela inovação, excelência técnica e sustentabilidade. Sua atuação abrange todo o ciclo do saneamento, desde a captação dos recursos hídricos até a devolução segura da água ao meio ambiente, por meio de soluções de engenharia, planejamento e infraestrutura. A empresa reúne experiência em projetos realizados em mais de 1.450 municípios de 14 estados brasileiros, com soluções que já beneficiaram mais de 30 milhões de habitantes e resultaram em mais de R\$ 40 bilhões em investimentos no setor de saneamento.

Em consonância com os princípios da economia circular e com a compreensão de que o reúso de água constitui uma



importante prática para a transformação do setor de saneamento e para o desenvolvimento sustentável da sociedade, a SANEARES apoia o IRdA e vem desenvolvendo estudos e projetos na área.

Dentre os projetos desenvolvidos pela SANEARES está o Retrofit da Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR) Anhumas, em Campinas (SP), com capacidade de atendimento de 1.115 L/s, atendendo uma população estimada de 334.094 habitantes. Localizada em uma região de expressiva atividade industrial, a EPAR apresenta posição estratégica para a produção de água de reúso para fins industriais, contribuindo para a diversificação das alternativas de abastecimento e para a redução da dependência de fontes convencionais. Para o respectivo projeto, foi adotada a tecnologia Nereda® seguida de ultrafiltração como rota de tratamento, com foco na produção de água de reúso compatível com elevados requisitos de qualidade. A iniciativa representa um importante projeto de reúso de água e reforça a atuação da SANEARES no desenvolvimento e apoio a iniciativas voltadas à segurança hídrica, à eficiência no uso da água e à economia circular no saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Angelakis, A.N.; Asano, T.; Bahro, A.; Tchobanoglous, G. (2018). Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. *Front. Environ. Sci.* 6:26.
2. Brasil. (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. *Diário Oficial da União*.
3. Brasil (2025a). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Relatório dos Serviços de Abastecimento de Água - SINISA 2025 (ano de referência 2024). Brasília, DF.
4. Brasil (2025b). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Relatório dos Serviços de Esgotamento Sanitário - SINISA 2025 (ano de referência 2024). Brasília, DF.
5. CEBDS | IRdA&GO. (2025). Panorama Regulatório do Reúso de Água no Brasil. Rio de Janeiro.
6. GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2023). *Compendium of Business Models on Safe Reuse of Treated Water*.
7. IRdA - Instituto Reúso de Água (2026). *Coletânea IRdA News2025: Atualizando conceitos*. 28p. Braga, Portugal/ Rio de Janeiro, Brasil.
8. Instituto Trata Brasil (2026). *Avanços do novo marco legal do saneamento no Brasil – 2026 (SINISA 2024)*. São Paulo, 2026.
9. Jones, E.R.; Vliet, M.T.H.; Qadir, M.; Bierkens, M.F.P. (2021). Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13(2):237-254.
10. Khemka, Rochi, and Eberhard, Rolfe. (2025). *Scaling Water Reuse: A Tipping Point for Municipal and Industrial Use*. Washington, DC: World Bank.
11. La Peña, M.E.; Larrea, C.; Sasaki, K.; Smith, D. (2022). El reúso de agua residual tratada en América Latina y el Caribe: 10 estudios de caso. (Nota técnica del BID ; 2567).
12. Paixão, M.M.; Pereira, R.O.; Santos, A.S.P. (2024). Micropollutants in potable water reuse: Review on guiding documents and operating plants around the world. *Eng. Sanit. Ambient.* 29.
13. Rao, K.; Hanjra, M.; Drechsel, P.; Danso, G. (2015). Business Models and Economic Approaches Supporting Water Reuse. In: Drechsel, P., Qadir, M., Wichelns, D. (eds) *Wastewater*. Springer, Dordrecht.
14. Resolução CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) nº 54 (2005). Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*.
15. Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 503 (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*.
16. Resolução Conjunta CNRH/CONAMA nº 01 (2026). Estabelece modalidades, diretrizes, critérios gerais e parâmetros mínimos de qualidade para a prática de reúso direto não potável de água proveniente de efluente sanitário tratado em estações de tratamento de esgoto de sistemas públicos de esgotamento sanitário. (não publicada no DOU até o fechamento dessa edição)
17. Santos, A.S.P.; Pachawo, V.; Melo, M.C.; Vieira, J. M.P. (2022). Progress on legal and practical aspects on water reuse with emphasis on drinking water – an overview. *Water Supply* 22 (3): 3000–3014.
18. Santos, A.S.P.; Lima, M.A.M.; Paixão, M.M.; Jordão, E.P.; Vieira, J.M.P. (2024). A perspective for the acceptance of water reuse: history of the valorization of wastewater throughout the development of society. *Water Policy*, v. 26, n. 4, p. 336–358.
19. Santos, A.S.P.; Lima, M.A.M.; Soares, S.R.A. (2025). Diretrizes para o reúso de água no Brasil. Instituto Reúso de Água, Braga / Portugal – Rio de Janeiro / Brasil.
20. USEPA – United States Environmental Protection Agency. (2019). *National Water Reuse Actions Plan – Draft*.
21. WRA - Water Reuse Association. (2004). *Innovative Applications in Water Reuse: Ten Case Studies*. United States of America.

Observação: Nem todas as referências bibliográficas estão citadas no texto. Porém, todas elas foram, de certa forma, incorporadas ao estudo. Além disso, houve diálogos e trocas de emails com especialistas e pesquisadores de diferentes instituições relacionadas ao reúso de água no mundo, tais como Water Reuse Association (EUA) e Water Reuse Europe (Europa). Foram ainda assistidos vídeos e webinars institucionais para busca de dados atuais dos projetos apresentados no conteúdo completo do relatório.



**INSTITUTO
REUSO DE ÁGUA**

Reúso de Água na Prática

*Coletânea de experiências de projetos de
reúso de água em operação pelo mundo*

Redes sociais



reusodeagua.org



reusodeagua.org@gmail.com



Rua das Mimosas 9. Braga/Portugal – 4715-641



@instituto-reusodeagua



Instituto Reúso de Água



@instituto-reusodeagua