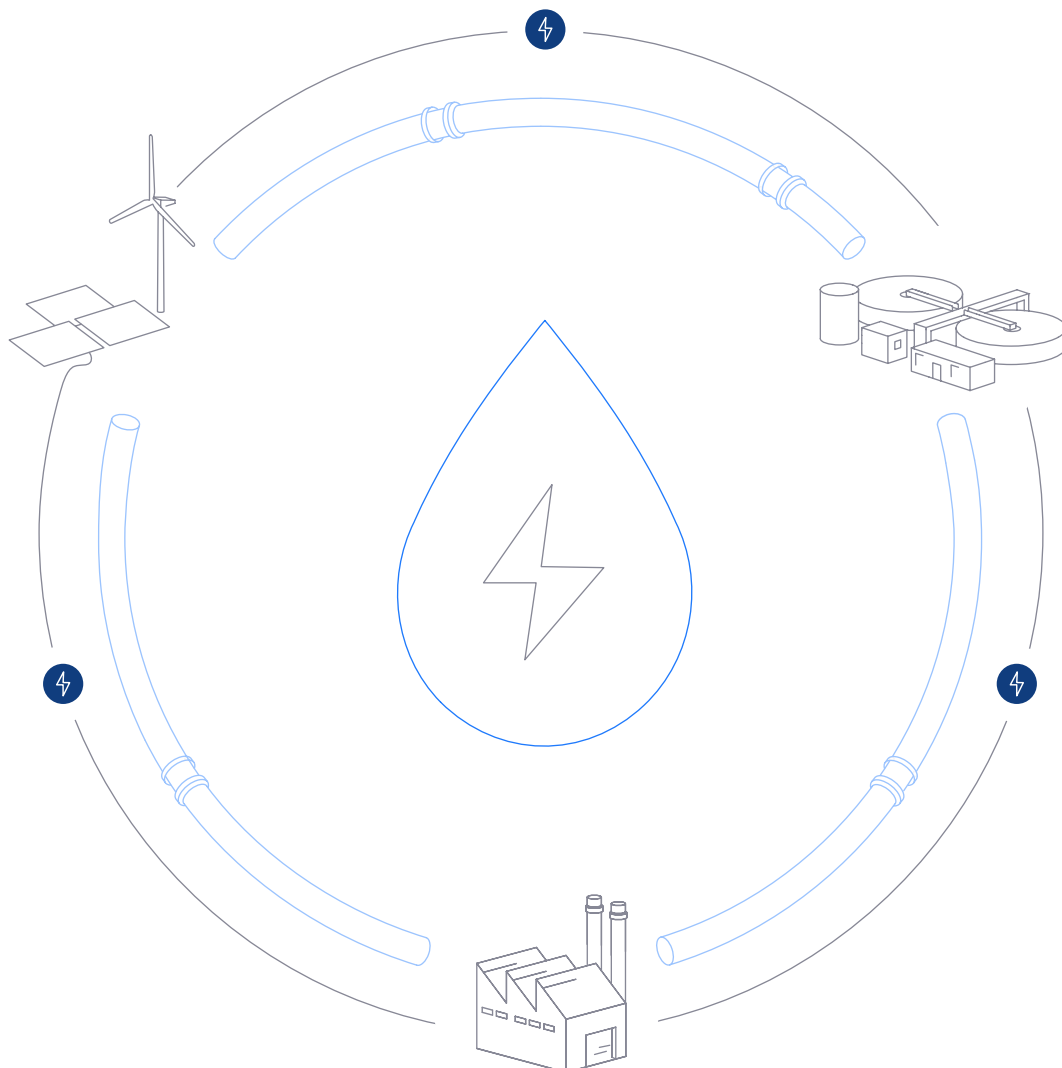


O potencial do nexo água-energia

Explorando a **eficiência**



Índice



Resumo

Com base em evidências empíricas e dados de várias fontes confiáveis, a edição nº 7 da Danfoss Impact destaca a importância crucial de considerar a água e a energia como recursos interdependentes. A publicação destaca tecnologias com um potencial incrível de economia de energia, água e emissões, que hoje são pouco implementadas no setor hídrico e nos usos finais, apesar de sua ampla disponibilidade e prazos de retorno favoráveis.

Um agradecimento especial ao Sr. Kai Zhu (Pesquisador Associado, Centro de Transição Sustentável – Programa de Energia, WRI China) e ao Sr. Laurens Speelman (Diretor, Rocky Mountain Institute) por oferecerem contribuições e comentários valiosos sobre as versões preliminares deste artigo.

As opiniões expressas neste artigo são da Danfoss. Sua integridade e precisão não devem ser atribuídas a quaisquer revisores ou entidades externas.

Comentários ou perguntas podem ser encaminhados à Chefe de Análise, Sra. Judith Neijzen, pelo e-mail judith.neijzen@danfoss.com.

Água e energia — como a eficiência une as duas	4
Tem só dois minutos?	7
A íntima relação entre a água e a energia	8
O nexo água-energia	9
Três medidas para combater o desperdício no ciclo da água	12
O custo de não abordar o papel da energia no ciclo da água	13
Fase 1: Produção	14
Captação de água doce	15
Desalinização	16
Supere as barreiras de produção	21
Fase 2: Distribuição	22
Água não rentável	23
Superando os obstáculos de distribuição	27
Fase 3: Consumo	28
Agricultura	29
Indústria	30
Data Centers	32
Superando as barreiras ao consumo	35
Fase 4: Tratamento e reutilização	36
Tratamento de águas residuais	37
Reutilização de água industrial	40
Superando os obstáculos para o tratamento e reutilização	43
Recomendações Políticas	45
Referências	46

Água e energia — como a eficiência une as duas

A escassez de água é um dos principais desafios da nossa era e afeta a todos nós. De acordo com a Comissão Global sobre a Economia da Água, a demanda global por água deverá ultrapassar a oferta em 40% já em 2030.¹ Atualmente, mais de dois bilhões de pessoas vivem sem acesso a água potável.²

Um dos maiores desafios da gestão global de recursos hídricos — que não é discutido nem de longe tanto quanto deveria — está relacionado à energia. **Estamos gerenciando nosso consumo de energia para o abastecimento de água de forma ineficiente — e cara —, desperdiçando muito mais do que o necessário.** Podemos mudar isso!

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), o setor hídrico global é responsável por 4% do consumo total de eletricidade.³ Essa energia é utilizada para produzir e tratar a água, bombeá-la por redes de tubulação e distribuí-la para residências, propriedades rurais, indústrias e outros setores. No entanto, após décadas de subinvestimento no setor, estamos exercendo uma pressão insustentável sobre a infraestrutura essencial que gerencia esse recurso vital.

Sem medidas urgentes para resolver as ineficiências na forma como gerenciamos os pontos de contato em nossos sistemas hídricos e energéticos, os países de alta renda correm o risco de perder até 8% do PIB até 2050.⁴ Para os EUA, isso equivale a quase um terço dos gastos públicos em 2024.⁵

A boa notícia é que existe hoje um potencial incrível para aumentar a eficiência, a resiliência e a competitividade econômica do setor hídrico.

Muitos fatores estruturais que alimentam a crise hídrica ainda permanecem ocultos aos olhos do público: o gotejar constante de tubulações com vazamentos, a infraestrutura obsoleta e o consumo excessivo de energia dos nossos sistemas hídricos. Para tapar os buracos em nossos sistemas hídricos ineficientes e cheios de vazamentos, precisamos primeiro corrigir as políticas que criamos para gerenciá-los, protegê-los e desenvolvê-los. Isso exige que governos, empresas e a sociedade civil trabalhem juntos para construir sistemas hídricos eficientes e resilientes, visando um futuro mais próspero. Esse é o foco principal deste artigo.

Além do impacto imediato na saúde humana, a escassez de água também significa que indústrias em todo o mundo enfrentam dificuldades para obter água para a produção, o que representa um grande desafio para a competitividade industrial.

Mas não precisa ser assim.

Seja na dessalinização, nas redes de distribuição, na irrigação ou no tratamento de águas residuais, **já existem soluções tecnológicas para reforçar a eficiência hídrica e energética em todas as fases do ciclo da água.** Este artigo apresenta o impacto das soluções tecnológicas existentes e destaca a relevância política da relação entre água e energia.

“A boa notícia é que existe hoje um potencial incrível para aumentar a eficiência, a resiliência e a competitividade econômica do setor hídrico”

O documento destaca onde se concentra o consumo de energia no ciclo da água, quais soluções existem para reduzir o desperdício de água e energia e como políticas eficazes podem diminuir a distância entre ambição e implementação.

Acima de tudo, **este documento apela a uma mudança de perspectiva entre os formuladores de políticas — para que vejam a água e a energia não como desafios separados, mas como sistemas profundamente interligados**, em que a eficiência em um deles promove eficiência e resiliência no outro. Para otimizar a relação entre água e energia, recomendamos que os formuladores de políticas ajam em quatro frentes: reduzir o desperdício, aumentar a eficiência, adotar a digitalização e valorizar a água. A melhor parte é que tudo isso pode ser feito com soluções que já existem. Agora é a hora de expandi-las para fortalecer o bem-estar humano, aumentar a resiliência climática, garantir a segurança econômica e acelerar a competitividade industrial. Mãos à obra.

Kim Fausing
Presidente & CEO, Danfoss

Até 2030, a demanda global por água excederá a oferta em 40% — um desafio que não podemos ignorar.

Tem só 2 minutos?

1

O desperdício de água está agravando a crise climática e ameaçando a resiliência econômica

As práticas e infraestruturas atuais de gestão hídrica são ineficientes e insuficientes. Até 2040, prevê-se que o consumo de energia do setor hídrico mais do que duplique, enquanto a demanda por água do setor energético poderá aumentar em quase 60%.⁶ Sem uma rápida melhoria na eficiência energética desses sistemas, o declínio econômico, os desastres climáticos e a instabilidade política se tornarão mais comuns. Nesse sentido, é fundamental abordar a relação entre água e energia. Por meio de tecnologias mais eficientes para bombeamento, tratamento, aquecimento e resfriamento, bem como controles mais inteligentes e monitoramento digital, é possível reduzir tanto os custos de energia quanto as emissões, ao mesmo tempo em que fortalece a resiliência de nossos sistemas hídricos.

2

O consumo ineficiente de água está esgotando os recursos de água doce do mundo

Tecnologias ineficientes e processos ultrapassados fazem com que quase todos os setores estejam consumindo água em taxas insustentáveis. Por exemplo, a crescente demanda por processamento de dados levou a um aumento correspondente no consumo de energia e água dos data centers. A AIE estima que os data centers consomem hoje cerca de 560 bilhões de litros de água por ano em todo o mundo — um número que pode subir para cerca de 1.200 bilhões de litros por ano em 2030.⁷ Isso representa seis vezes a captação total de água doce da UE em 2022.⁸ Com sistemas de resfriamento líquido de circuito fechado, no entanto, as empresas podem reduzir drasticamente tanto a pegada hídrica quanto a energética dos data centers.⁹ Da mesma forma, a indústria de semicondutores é altamente intensiva em água. Apesar disso, 40% das instalações globais de fabricação de semicondutores estarão localizadas em regiões que enfrentam estresse hídrico alto ou extremo entre 2030 e 2040.¹⁰ Trata-se de uma sobreposição arriscada entre a forte demanda por água e a crescente escassez hídrica, que pode colocar em risco a resiliência industrial.

3

São necessários investimentos no setor hídrico para impulsionar a competitividade e a segurança

A água é crucial para a competitividade e a segurança. À medida que as mudanças climáticas se agravam, o acesso reduzido à água potável, ao saneamento e o declínio no armazenamento de água podem fazer com que os países de alta renda sofram uma redução de 8% em seus PIBs até 2050.¹¹ Para os EUA, 8% do PIB equivalia a quase um terço dos gastos do governo em 2024.¹² Os países de baixa renda podem sofrer uma redução mais acentuada, de 10 a 15%.¹³ Apesar disso, os países estão perdendo quantidades significativas de água tratada em redes de distribuição com vazamentos. Nos EUA, vazamentos em tubulações representaram uma perda equivalente a US\$ 7,6 bilhões em água tratada em 2019 — um valor que deve aumentar para US\$ 16,7 bilhões até 2039.¹⁴ Investimentos em soluções existentes, como sensores, bombas e inversores de frequência, podem reduzir a perda de água e aumentar a eficiência energética das redes de distribuição de água.

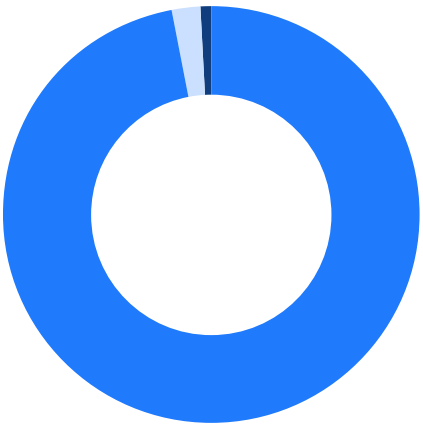
4

A escassez de água e o aumento da demanda exigem formas mais eficientes em termos energéticos de gestão, tratamento e produção de água

Até 2030, a demanda global por água deverá superar a oferta em 40%.¹⁵ Para atender a essa demanda, muitas regiões precisarão aumentar a oferta por meio de métodos de produção de água que consomem muita energia — nomeadamente a dessalinização e o tratamento de águas residuais. Aumentar a eficiência desses processos será essencial para limitar o impacto nos sistemas locais de água e energia, bem como nos ambientes regionais. Por exemplo, se todas as usinas de dessalinização existentes no mundo fossem adaptadas para operar no potencial tecnológico atual (2,0 kWh/m³), (2,0 kWh/m³), isso poderia gerar uma economia financeira de 34,5 bilhões de euros e reduzir as emissões de CO₂ em 111 milhões de toneladas métricas.¹⁶ Da mesma forma, uma estação de tratamento de águas residuais em Chennai, na Índia, economizou cerca de 22% de seu consumo de energia simplesmente implementando uma tecnologia já existente: variadores de velocidade. Ampliar esse potencial em todos os lugares é essencial para atender à crescente demanda.

A íntima ligação entre a água e a energia

Figura 1
A distribuição de água nos oceanos, nas geleiras e nas fontes naturais de água doce²⁰



- Oceanos 97.2%
- Geleiras 2.15%
- Águas subterrâneas, lagos e rios, umidade do solo e atmosfera 0,65%

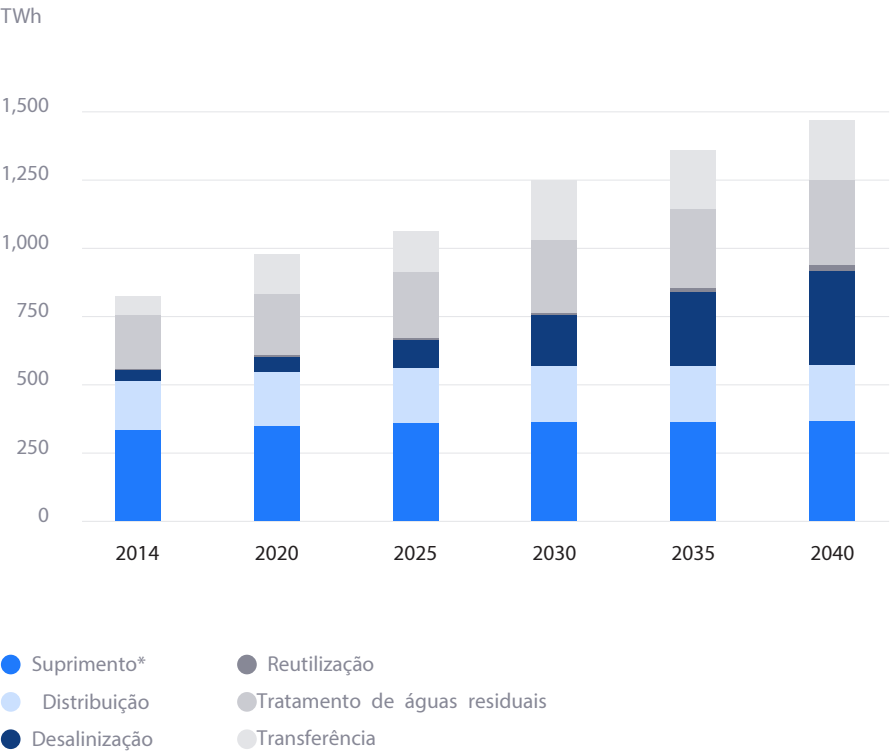
Desde pequenos, aprendemos que a água cobre cerca de 70% da superfície da Terra. E é verdade: a água é um dos recursos mais abundantes do nosso planeta. No entanto, apenas uma pequena parte dessa água está disponível de forma que possa realmente ser utilizada. Na verdade, apenas 3% de toda a água é potável, e apenas uma fração disso está disponível para uso humano (consulte a Figura 1).¹⁷ Essencial para o consumo de água, a produção de alimentos, os processos industriais e o saneamento, **garantir acesso confiável e suficiente à água potável é fundamental para a saúde humana, a competitividade econômica e a segurança a longo prazo.**

No entanto, esse recurso precioso está cada vez mais sob pressão. As mudanças climáticas estão prejudicando o ciclo hidrológico, com graves implicações para a disponibilidade de água doce. Uma das principais preocupações é a água subterrânea, que fornece metade de toda a água retirada mundialmente para uso doméstico e sustenta mais de 25% da irrigação global.¹⁸ Ela está se esgotando mais rapidamente do que é reabastecida, e as mudanças climáticas estão agravando a situação. O aumento das temperaturas e as mudanças nos padrões de precipitação estão reduzindo a recarga dos lençóis freáticos, ameaçando a sustentabilidade a longo prazo desse recurso vital.¹⁹

Além disso, os sistemas e práticas atualmente em vigor para gerenciar os recursos hídricos da Terra também são extremamente ineficientes. Isso se deve, em parte, à falta de conhecimento e transparência causada por dados insuficientes ou imprecisos. O resultado tem sido um **subinvestimento sistemático no setor hídrico, o que levou a rachaduras — tanto figurativas quanto literais — na infraestrutura hídrica.** Nos EUA, vazamentos em tubulações causaram a perda do equivalente a US\$ 7,6 bilhões em água tratada em 2019 — um valor que deve aumentar para US\$ 16,7 bilhões até 2039.²¹ Da mesma forma, na Europa, a maioria dos Estados-Membros da UE precisará gastar entre 500 e 1.000 euros a mais por pessoa, no total, até 2030, em abastecimento de água e saneamento para cumprir as regulamentações hídricas existentes.²²

Por fim, **a escassez de água é causada, em parte, pelo uso ineficiente de energia no próprio setor hídrico.** O setor hídrico global é responsável por 4% do consumo global de eletricidade,²³ grande parte da qual é produzida com combustíveis fósseis. As emissões desses combustíveis fósseis contribuem para as mudanças climáticas, o que, por sua vez, agrava as crises relacionadas à água. Para reduzir as emissões de gases de efeito estufa do setor hídrico e, ao mesmo tempo, aumentar sua resiliência, é crucial que os tomadores de decisão se concentrem na eficiência energética de cada etapa do ciclo da água. Isso começa pela compreensão da relação entre água e energia.

Figura 2
Consumo de eletricidade no setor hídrico por processo, 2014-2040²⁵



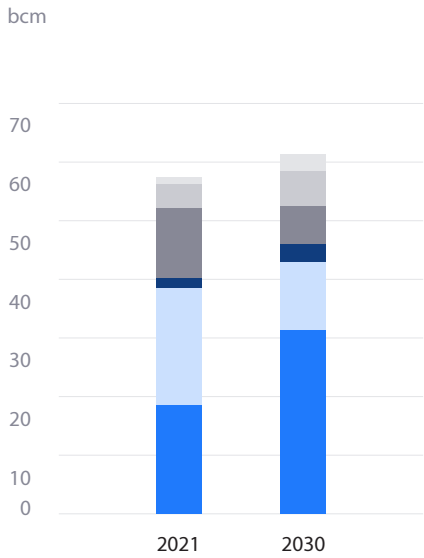
A relação entre água e energia

A água não é extraída, produzida, tratada, distribuída ou consumida por si só: isso requer energia. À medida que as populações crescem e as necessidades hídricas se intensificam, a demanda energética do setor hidráulico está aumentando drasticamente. **Estima-se que, até 2040, a quantidade de energia utilizada no setor hidráulico mais que duplique.**²⁴ O aumento do consumo de energia é atribuído, em grande parte, à maior demanda por tratamento de águas residuais e dessalinização (consulte a Figura 2).

O pico no consumo de energia nos sistemas hídricos destaca uma oportunidade fundamental para melhorar a eficiência energética. Por meio de tecnologias mais eficientes para bombeamento, tratamento, aquecimento e resfriamento, bem como controles mais inteligentes e monitoramento digital, é possível reduzir tanto os custos de energia quanto as emissões, ao mesmo tempo em que se fortalece a resiliência de nossos sistemas hídricos.

Estima-se que, até 2040, o consumo de energia no setor hídrico mais que duplique

Figura 3
Consumo global de água no setor energético por combustível e tipo de geração de energia no Cenário de Políticas Declaradas, 2021 e 2030²⁸



● Bioenergia
● Combustíveis fósseis
● Combustíveis fósseis
● Hidrogênio
● Nuclear
● Energias renováveis

Além disso, assim como a energia é essencial para a água, a água é essencial para a energia. O setor energético depende fortemente da água para resfriar usinas de energia, gerar eletricidade por meio da energia hidrelétrica, refinar combustíveis e sustentar as culturas destinadas à bioenergia. **Atualmente, o sistema energético é responsável por aproximadamente 14% das captações globais de água,** tornando-se um dos maiores usuários de água doce em todo o mundo.²⁶ A necessidade de água na produção de energia pode crescer quase 60% até 2040.²⁷ A Figura 3 mostra exatamente quanta água é consumida no setor energético por tipo de combustível e geração de energia em 2021 e 2030.

Os sistemas energéticos dependem fortemente da água, criando vulnerabilidades significativas. Durante secas ou ondas de calor, as usinas de energia podem ter que reduzir a produção ou até mesmo parar de funcionar quando a água de resfriamento se torna escassa. Ao mesmo tempo, os sistemas hídricos estão consumindo quantidades crescentes de energia para bombeamento, tratamento e distribuição. A dependência mútua entre os dois recursos vitais é conhecida como o nexo água-energia.

Figura 4
As quatro fases do nexo água-energia



Compreendendo o nexo água-energia

Este artigo utilizará o ciclo de vida econômico da água como um conceito para entender a relação interligada entre água e energia. A Figura 4 acima ilustra o ciclo de vida econômico da água, dividido em quatro fases principais:

Fase 1: Produção

A produção de água representa a primeira fase do ciclo. Isso envolve tanto a produção “convencional” de água (por exemplo, extração de água doce) quanto a produção “não convencional” (por exemplo, dessalinização). Esses processos exigem um consumo substancial de energia e, portanto, exercem uma pressão imensa sobre nossos sistemas energéticos. Ao mesmo tempo, nossos sistemas energéticos dependem fortemente da água, tanto para resfriar processos de combustão quanto como fonte de energia, como na geração hidrelétrica e na produção de hidrogênio.

Fase 2: Distribuição

Depois de produzida, a água precisa percorrer uma rede de distribuição para chegar aos consumidores finais. Esse processo de distribuição requer energia para o bombeamento, a manutenção da pressão e a garantia da qualidade da água em todo o sistema.

Fase 3: Consumo

A terceira fase é o consumo de água em diversos setores — especialmente em setores de alta demanda e em aplicações como a agricultura, indústria e os data centers. É necessária energia para aquecer, bombear e distribuir a água durante o consumo, enquanto a água também pode ser utilizada para absorver e transferir energia, como nos sistemas de resfriamento líquido para data centers ou no aquecimento e resfriamento de ambientes por meio de sistemas de energia distritais.

Fase 4: Tratamento e Reutilização

É fundamental ressaltar que o ciclo não termina no consumo. Após o uso, as águas residuais geralmente precisam ser tratadas e, em muitos casos, têm potencial para serem reutilizadas. Esses são processos amplamente empregados, mas que consomem muita energia, o que significa que ganhos de eficiência podem gerar economias consideráveis de água e energia em todo o setor.

Essa abordagem circular destaca a importância de pensar em água e energia em conjunto, reconhecendo que a eficiência em uma parte do ciclo pode impactar positivamente todo o sistema.

Três medidas para combater o desperdício no ciclo da água

Para combater o desperdício de água e energia no ciclo hidrológico, é necessário que as empresas, concessionárias, legisladores e órgãos reguladores tomem três medidas fundamentais:

Menor demanda

Reduzir a demanda por água é um passo essencial para limitar o desperdício tanto de água quanto de energia. Isso é particularmente relevante na fase de **consumo**. Ao consumir apenas o que é realmente necessário, podemos limitar a pressão sobre os recursos de água doce e reduzir a necessidade de produzir água por meio de processos que consomem muita energia. Isso vale tanto para a demanda por água no uso final quanto para setores que consomem muita água, como a indústria e a agricultura. Consumir apenas o que é necessário também reduz o consumo de água e energia em todas as fases de montante e jusante do ciclo da água, uma vez que precisaremos produzir, distribuir e tratar menos água. Na prática, a redução da demanda significa aumentar a conscientização sobre o consumo de água entre os usuários finais, planejar uma redução na demanda por água por meio de um melhor projeto de residências, espaços urbanos ou do uso do solo em geral. Da mesma forma, significa reformar ou aprimorar a infraestrutura hídrica existente e utilizar soluções de eficiência já existentes em novas instalações.

Reduzir o desperdício

Há uma quantidade incrível de água sendo desperdiçada na distribuição de água. Atualmente, estamos produzindo e distribuindo muito mais água do que realmente usamos, e grande parte dela é perdida por vazamentos causados por um gerenciamento ineficiente da pressão e pelo envelhecimento da infraestrutura nas redes de **distribuição**. Da mesma forma, aumentar a eficiência energética dos processos hídricos pode trazer economias significativas de energia, emissões e custos. Combater o desperdício de água é fundamental para reduzir a quantidade de energia e recursos necessários para atender à demanda hídrica (veja a pág. 37 para mais informações).

Abastecer com eficiência

Ao aplicar soluções de eficiência energética existentes à infraestrutura hídrica atual e ao aprimorar os sistemas de monitoramento, muitos processos do ciclo da água podem ser otimizados para funcionar de maneira mais eficiente. Será necessária menos energia para fornecer a mesma quantidade de água. Quando a captação local de água doce não puder atender à demanda, será necessário suprir essa necessidade por meio de métodos alternativos. Isso significa recorrer a formas de produção que consomem mais energia, como a dessalinização, bem como aumentar o **tratamento e a reutilização de águas residuais**. Para minimizar o impacto sobre o sistema energético, esses processos devem ser otimizados para obter a máxima eficiência.

O custo de não abordar o papel da energia no ciclo da água

Negligenciar o nexo água-energia acarreta riscos financeiros e de competitividade significativos. Setores que dependem fortemente de ambos os recursos — como a indústria manufatureira e a extração de recursos — enfrentam custos crescentes quando as ineficiências não são resolvidas. Por exemplo, **questões relacionadas à água já levaram a um aumento de US\$ 9,6 bilhões nos custos do setor de geração de energia em todo o mundo**, em grande parte devido ao aumento das despesas operacionais.²⁹ Além disso, à medida que as mudanças climáticas pioram, **o acesso reduzido à água potável, ao saneamento e o declínio no armazenamento de água podem fazer com que os países de alta renda sofram uma redução de 8% em seus PIBs até 2050**.³⁰ **Para os EUA, 8% do PIB equivaleriam a quase um terço dos gastos do governo em 2024**.³¹ **Os países de baixa renda poderiam sofrer uma redução mais acentuada, de 10% a 15%**.³²

Mas os custos não são apenas financeiros ou ambientais: estão também intrinsecamente ligados à saúde humana e à segurança geopolítica. Quando a água ou a energia se tornam inacessíveis financeiramente ou fisicamente, as famílias podem enfrentar dificuldades econômicas e a infraestrutura pública fica cada vez mais sobrecarregada. A má gestão dos nossos recursos hídricos e energéticos pode até aumentar o risco de conflitos, à medida que a competição por esses recursos se intensifica.³³ Isso é especialmente verdadeiro em regiões que dependem de energia importada e de fontes hídricas compartilhadas. **O fortalecimento da segurança e a construção da resiliência dos recursos começam com o reconhecimento e o tratamento do nexo água-energia.**

Produção

Na maioria dos casos, antes que a água possa ser utilizada, ela precisa ser produzida — seja por meio da captação de água doce ou da dessalinização da água salgada. Embora a produção e o tratamento (leia mais sobre o tratamento na Fase 4, na p. 36) da água sejam necessários para garantir que ela tenha as propriedades adequadas para diversos usos finais, esses são, muitas vezes, processos que consomem muita energia e utilizam equipamentos ineficientes. A dessalinização, por exemplo, é responsável por 26% de toda a energia utilizada no setor hídrico global.³⁴ À medida que o estresse hídrico aumenta, a demanda por dessalinização também aumentará. E embora haja muitas medidas a serem tomadas antes de se recorrer à produção de água por meio da dessalinização, o foco na eficiência energética tornará a dessalinização uma solução razoável para garantir um abastecimento hídrico suficiente.

Esta seção apresenta soluções-chave para aumentar a eficiência dos sistemas de produção de água, com o objetivo de garantir um abastecimento eficiente, com ênfase especial no aumento da eficiência do método de produção de água que mais cresce: a dessalinização. No entanto, antes disso, ela aborda alguns desafios comuns na gestão dos recursos de água doce existentes.

Captação de água doce

A água doce é captada das águas subterrâneas ou das águas superficiais, como lagos e rios. Globalmente, essa água é captada pela agricultura (72%), pela indústria (15%) e pelos municípios (13%).³⁵ Ao mesmo tempo, o uso de água doce está aumentando em todo o mundo, o que significa que o consumo de energia para a captação está aumentando e que nossos reservatórios de água doce estão enfrentando um estresse cada vez maior. Desde 1900, o uso global de água doce aumentou seis vezes,³⁶ e, até 2030, a demanda poderá superar a oferta em 40% globalmente.³⁷ Atualmente, **3,6 bilhões de pessoas não têm acesso adequado à água pelo menos um mês por ano.**³⁸ Para piorar, pesticidas e fertilizantes da agricultura, esgoto humano não tratado e resíduos industriais estão contaminando nossos reservatórios de água. Em 2023, 45,5% dos rios, lagos e reservatórios de águas subterrâneas do mundo não apresentavam boa qualidade.³⁹ Tudo isso destaca a importância de retirar água doce de maneira responsável e eficiente.

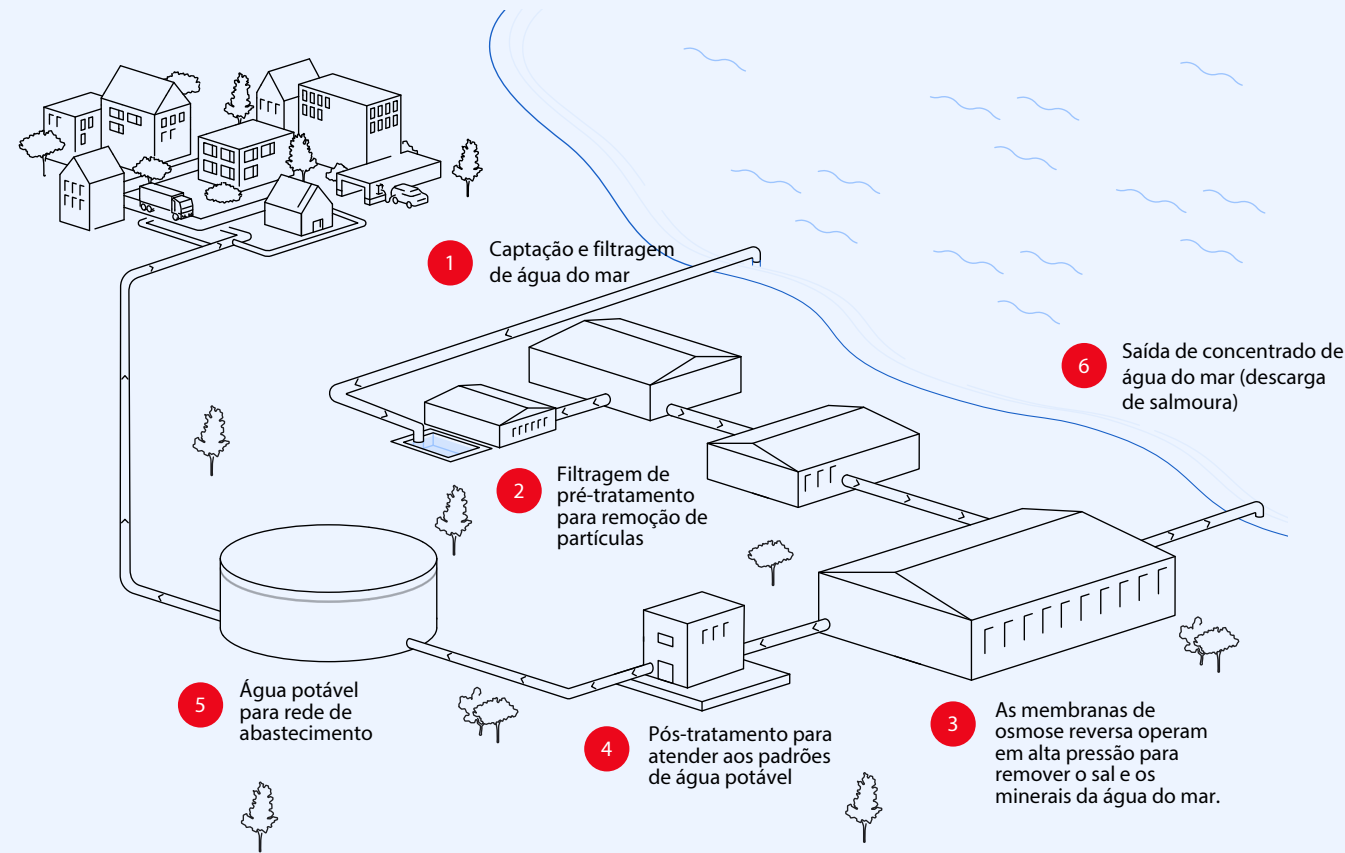
A captação de água consome muita energia, mas existe um potencial considerável para otimizar os processos. Por exemplo, o bombeamento de águas subterrâneas é responsável por 89% do consumo de energia na agricultura irrigada, apesar de apenas 40% da água de irrigação vir de águas subterrâneas. O bombeamento de águas subterrâneas para a agricultura irrigada consome 469 TWh e emite 192 milhões de toneladas de CO₂, ou cerca de 13% do total de emissões e do consumo de energia nas operações agrícolas.⁴⁰ As bombas são acionadas por um motor, que, por padrão, possui apenas duas configurações: velocidade máxima ou desligado.

Muitas vezes, o motor não precisa funcionar a velocidade máxima, e um inversor de frequência (VFD) pode reduzir a velocidade do motor para atender à demanda e economizar quantidades significativas de energia. Os VFDs têm um curto tempo de retorno — frequentemente inferior a dois anos⁴¹ — e podem proporcionar uma economia de energia entre 20% e 50% para motores que acionam bombas de água.⁴² Os VFDs também garantem que a quantidade certa de água seja utilizada — nem mais, nem menos. Isso significa menor pressão sobre os recursos hídricos escassos.

A substituição de variadores de velocidade (VFDs) mais antigos também pode levar à redução do consumo de energia. Um exemplo disso é a Estação de Tratamento de Água de Chertsey, no Reino Unido, onde os VFDs mais antigos foram substituídos por modelos mais novos para otimizar o funcionamento das bombas. Isso resultou em uma economia de energia de mais de 168.000 kWh por ano, reduzindo as emissões de CO₂ em 1.776 toneladas ao longo do ciclo de vida dos inversores e economizando mais de £ 300.000 em custos de eletricidade para a concessionária.⁴³ Esse exemplo demonstra como a infraestrutura hídrica existente pode se tornar significativamente mais eficiente com a aplicação de tecnologia moderna de acionamento.

Quando não é possível captar água de forma responsável e eficiente, é necessário produzir água por meio de processos modernos para atender à demanda hídrica. Apesar dos avanços tecnológicos, esses processos consomem muita energia, e a escolha das tecnologias certas será determinante para o sucesso ou o fracasso do nosso sistema energético. Uma das formas mais promissoras é a produção de água doce a partir da água salgada por meio da dessalinização.

Figura 5
Como funciona uma usina de dessalinização⁴⁴

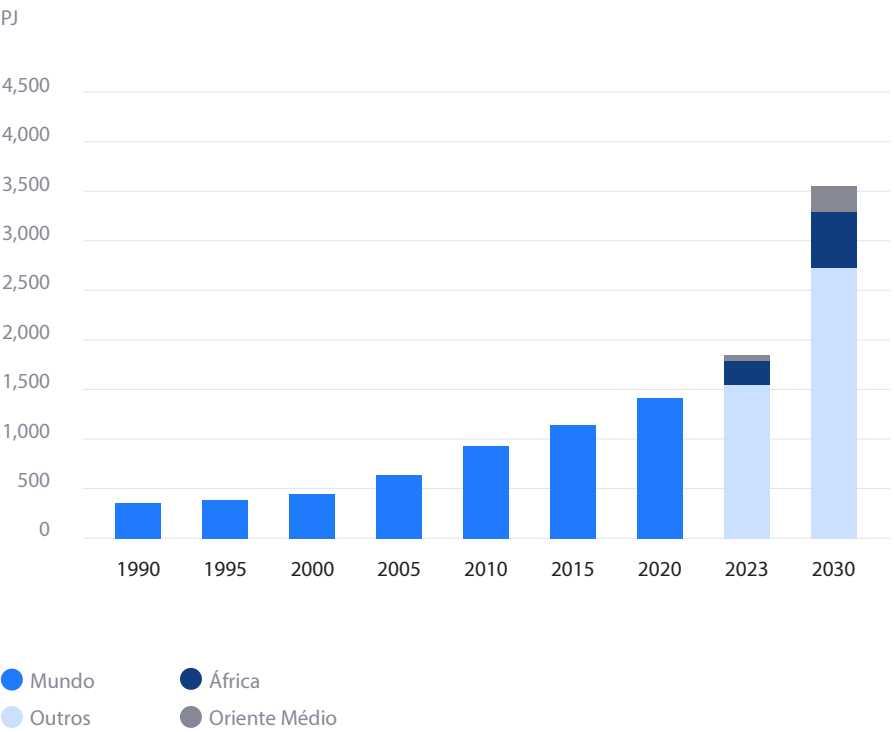


Dessalinização

Para lidar com a escassez de água, muitas regiões terão de recorrer a formas de produção de água que consomem mais energia, como a dessalinização. Em regiões que enfrentam estresse hídrico, a dessalinização já é utilizada como solução. O Oriente Médio, responsável por 48% da capacidade global de dessalinização,⁴⁵ registrou que a dessalinização representou 7% do consumo final total de energia em 2024.⁴⁶ Até 2050, espera-se que esse número mais que duplique, chegando a 15%.⁴⁷ No entanto, a produção de água doce por meio da dessalinização já é necessária em muitas regiões do mundo. Por exemplo, embora a tecnologia tenha sido amplamente adotada na Espanha e na Grécia há anos, até mesmo países como a Itália e o Reino Unido estão expandindo sua capacidade de dessalinização para atender às suas necessidades de água doce. Assim, focar na eficiência energética do processo é fundamental para reduzir seu impacto ambiental e econômico.

Nas últimas décadas, a dessalinização tornou-se muito eficiente⁴⁸, mas continua sendo um método que consome muita energia para atender à demanda por

Figura 6
IEA: Crescimento da demanda energética para dessalinização por região⁵⁰

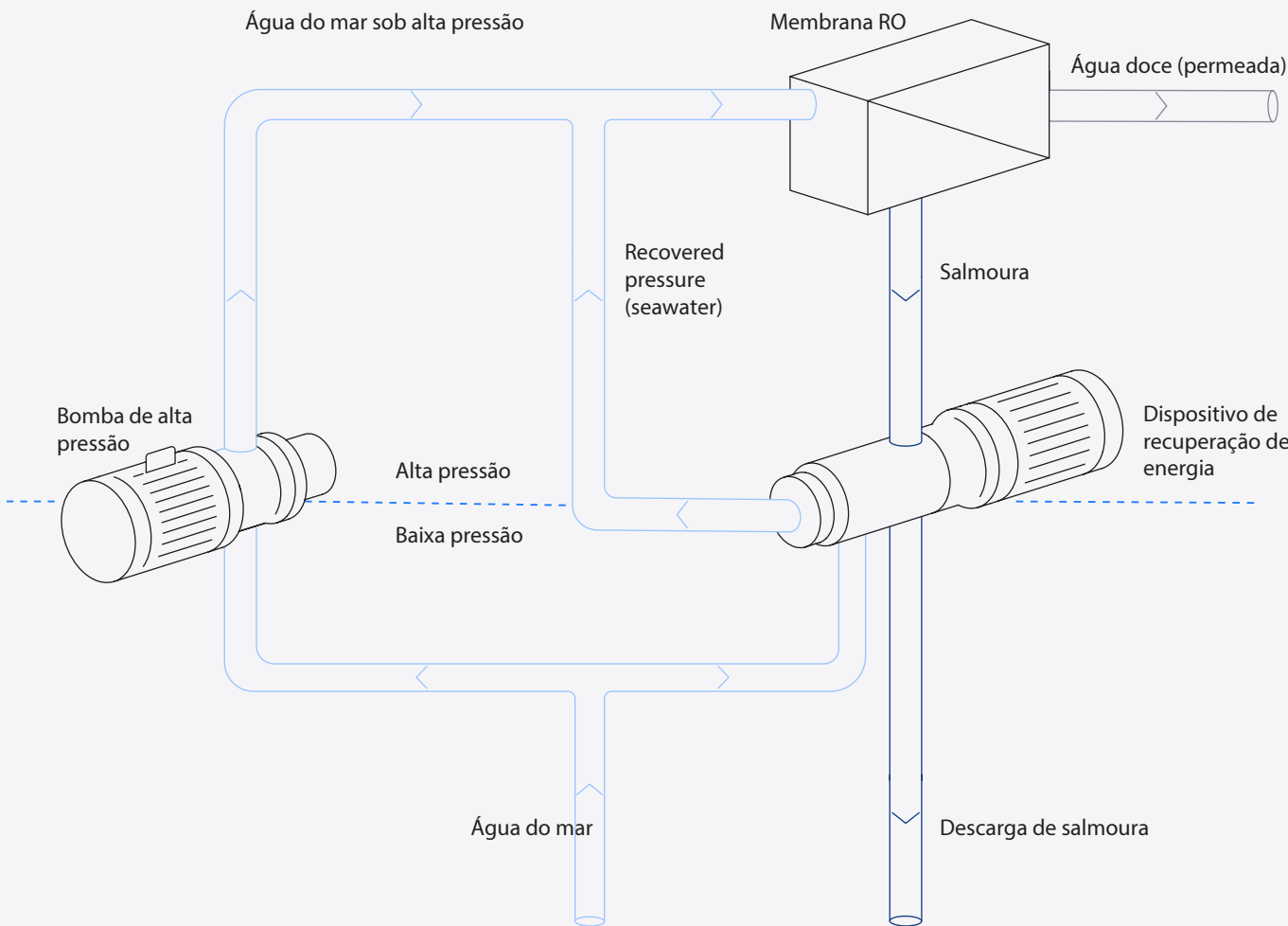


água. Portanto, antes de recorrer à dessalinização para garantir um abastecimento estável de água, é importante reduzir as perdas de água no sistema de distribuição localmente e diminuir o consumo final de água. Você pode ler mais sobre isso nas páginas 24 e 28, respectivamente. No entanto, mesmo após a adoção dessas medidas, haverá inevitavelmente uma grande demanda pela produção de água por meio da dessalinização. A Agência Internacional de Energia (AIE) projetou que a demanda global de energia para dessalinização dobrará de 562 TWh em 2023 para 1.079 TWh em 2030 (Figura 6).⁴⁹ Esse crescimento é impulsionado principalmente pelo Oriente Médio e pela África. O Oriente Médio representará mais de três quartos do consumo global de energia para dessalinização até 2030. Escolher a solução mais eficiente é, portanto, crucial tanto para a segurança hídrica quanto para a segurança energética locais, e a tecnologia de longe mais eficiente para produzir água doce a partir da água do mar é a osmose reversa de água do mar (SWRO).

Embora a dessalinização não deva ser a primeira opção para fornecer água potável suficiente, é o método não

convencional mais confiável e amplamente utilizado.⁵¹ Hoje, a dessalinização por osmose reversa da água do mar (SWRO) fornece água potável limpa e segura, podendo ser a solução em regiões e cidades que enfrentam escassez hídrica. A água engarrafada costuma ser a opção preferida, mas certamente gera um impacto ambiental.⁵² O transporte de água engarrafada, por si só, muitas vezes consome centenas de vezes mais energia do que a produção de água por meio da SWRO.⁵³ Com o surgimento de sistemas de dessalinização menores, mais modulares e flexíveis, a água pode ser produzida, engarrafada e distribuída localmente, o que, por sua vez, limitará a demanda por transporte de água engarrafada. Outro benefício desses sistemas modulares é que eles podem ser acondicionados em contêineres e enviados para locais com problemas repentinos de escassez hídrica, por exemplo, devido a secas.

Figura 7
Osmose reversa da água do mar



Como funciona a osmose reversa da água do mar

Na osmose reversa da água do mar, o circuito de alta pressão é a etapa mais crítica e, ao mesmo tempo, a que consome mais energia. A água do mar é extraída e alimentada em uma bomba de alta pressão, que a impulsiona através de uma membrana de osmose reversa, filtrando o sal e outros contaminantes durante o processo. A água doce é coletada, enquanto um dispositivo de recuperação de energia (ERD) aproveita a pressão restante na salmoura, recirculando-a para o circuito de pressão e reduzindo a demanda da bomba de alta pressão, economizando energia. A salmoura é então transportada para longe da costa, para áreas com alta circulação e fluxo de água do mar, garantindo que seja suficientemente misturada e dispersa.

Eficiência na dessalinização

A modernização de usinas de dessalinização antigas pode gerar economias significativas. No entanto, apesar das notáveis melhorias na eficiência da dessalinização por osmose reversa (SWRO) nos últimos anos, muitas usinas antigas ainda operam com baixa eficiência. Ao longo da vida útil de uma usina de dessalinização típica, 75% de seus custos operacionais (OPEX) são destinados às operações. Em particular, o circuito de alta pressão (consulte a Figura 7) requer grandes quantidades de energia. Embora os equipamentos para o circuito de alta pressão representem apenas 5% dos investimentos, o próprio circuito responde por 45% dos custos operacionais.⁵⁴

Com a tecnologia já existente, é possível que as usinas de dessalinização por osmose reversa da água do mar (SWRO) alcancem uma eficiência inferior a 2 kWh/m³ (ver o caso “Recorde mundial de eficiência energética em osmose reversa da água do mar” na pág. 20). Embora isso ainda represente um consumo energético elevado em comparação com a extração de água subterrânea, constitui um enorme avanço na eficiência energética da dessalinização. Em particular, no circuito de alta pressão, **as melhorias na recuperação de energia e no bombeamento de alta pressão apresentam um dos maiores potenciais inexplorados para gerar economias energéticas significativas.**

Um dispositivo de recuperação de energia essencialmente captura a pressão no material rejeitado que não passa pela membrana de osmose reversa e passa essa pressão para o próximo circuito, de modo que essa pressão não precise ser recriada. (consulte a Figura 7). Com um investimento inicial relativamente pequeno, os operadores de usinas de osmose reversa de água do mar (SWRO) normalmente economizam até 60% dos custos totais de energia ao incluir dispositivos de recuperação de energia em seus projetos. Embora os dispositivos de recuperação de energia tenham se tornado cada vez mais comuns nos últimos 15 anos, ainda existem muitas usinas de SWRO que operam sem eles.⁵⁵

Da mesma forma, as bombas de alta pressão usadas em sistemas de osmose reversa de água do mar (SWRO) representam 80% de todos os custos de energia elétrica — ou mais de um terço dos custos operacionais totais. Optar pelas bombas de alta pressão mais eficientes em termos energéticos disponíveis também pode fazer uma diferença significativa a longo prazo. Em muitos casos, e sempre que viável, as bombas de alta pressão podem reduzir os custos gerais de energia em 20 a 30% em comparação com as bombas convencionais, alcançando um retorno relativamente rápido do investimento inicial ligeiramente maior.⁵⁶

Mas se a modernização é uma ideia tão boa, por que mais proprietários e operadores de usinas não a adotam? Dado o notável potencial das modernizações para economizar energia, seria de se esperar que todos

os proprietários de usinas de dessalinização com tecnologia antiga já tivessem substituído seus equipamentos pelas alternativas mais modernas e avançadas. De fato, muitos já o fizeram, e muitos outros o farão no futuro. Mesmo assim, muitos continuam esperando.

Por quê? O desconhecimento dos benefícios da modernização, a relutância em adotar novas tecnologias precocemente e a inércia de não consertar o que não está quebrado são fatores importantes. Mas as principais razões são os investimentos iniciais (CAPEX) e a hesitação em relação ao tempo de retorno do investimento. Para alguns proprietários de usinas, o acesso ao capital necessário para modernizar suas instalações é problemático. Para outros, um tempo de retorno superior a um ano gera dúvidas — mesmo que possam economizar energia, dinheiro e reduzir as emissões de CO₂ em um horizonte de tempo mais longo. No entanto, **investimentos de CAPEX relativamente pequenos podem ter um impacto desproporcional em OPEX e no custo total de propriedade (TCO).** Ainda assim, nem todas as decisões de investimento em dessalinização são tomadas com foco no TCO.

Dessalinização como alavanca de flexibilidade

Dessalinização como alavanca de flexibilidade

Embora ainda sejam altamente intensivas em energia, as modernas tecnologias de dessalinização por osmose reversa (SWRO) deram grandes saltos em eficiência. Dito isso, elas também podem produzir em excesso, o que significa que podem produzir mais água, mas com um consumo de energia ligeiramente maior por metro cúbico de água. Isso significa que, quando há um excedente de eletricidade no sistema — por exemplo, quando o sol está brilhando e o vento está soprando — essa eletricidade pode ser usada para produzir água. No entanto, o que está acontecendo hoje é que os produtores de eletricidade renovável estão sendo pagos para interromper a produção quando há muita eletricidade na rede — também conhecido como corte de produção. Embora a superprodução de água possa consumir mais eletricidade por metro cúbico, todos nós beneficiaremos, garantindo que a eletricidade seja efetivamente utilizada e que haja economia de dinheiro na forma de custos evitados com o racionamento.

A produção excessiva de água no momento certo pode ser uma das muitas alavancas de flexibilidade do lado da demanda que serão fundamentais na transição para a energia elétrica. Além disso, armazenar água é simples e barato. De fato, a flexibilidade do lado da demanda é reconhecida como um pilar do Plano de Ação da UE para Energia Acessível, e estima-se que ela possa reduzir as contas de eletricidade em até 42% e gerar uma economia de até 29 bilhões de euros para a sociedade.⁵⁷

Estudo de caso

Recorde mundial de eficiência energética em osmose reversa de água do mar

Hoje, o setor hídrico representa 4% do consumo global de eletricidade,⁵⁸ incluindo a dessalinização. A produção de água por dessalinização consome muita energia, mas é

a melhor solução quando a água é escassa. Isso significa que, onde quer que o acesso à água seja um problema, o sistema energético também deve ser considerado. Assim, deve-se priorizar a eficiência energética a longo prazo de qualquer instalação de dessalinização.

Essa é exatamente a linha de pensamento do Instituto de Tecnologia das Ilhas Canárias (ITC), onde, em 2024, a usina experimental de dessalinização DESALRO 2.0 estabeleceu um novo recorde mundial de eficiência energética em dessalinização de água do mar por osmose reversa (SWRO). Utilizando um sistema modular de dessalinização de água do mar de alta pressão, o instituto ultrapassou, pela primeira vez, a barreira do consumo específico de energia de 2,0 kWh/m³ de água produzida, com um consumo de 1,86 kWh/m³. Em termos práticos, isso significa que a instalação consumiu até 25% menos energia do que o projeto convencional de usinas de dessalinização semelhantes.⁵⁹

O sucesso do DESALRO 2.0 representa um avanço significativo para tornar a dessalinização por osmose reversa da água do mar (SWRO) mais eficiente em termos energéticos. **De fato, se todas as usinas de dessalinização existentes no mundo fossem modernizadas para operar com 2,0 kWh/m³, a economia potencial seria enorme.**⁶⁰

- **Economia de energia:** 247 TWh, equivalente ao consumo total de eletricidade da Espanha em 2020
- **Economia financeira:** 34,5 bilhões de euros, o suficiente para construir sete parques eólicos do tamanho de Hornsea 1, um dos maiores parques eólicos offshore do mundo.
- **Redução das emissões de carbono:** 111 milhões de toneladas
- de CO₂, equivalente a 20% das emissões da aviação internacional.⁶¹

Como esse potencial se manifesta quando aplicado à infraestrutura existente de dessalinização por osmose reversa em países específicos? Vejamos os casos da Espanha e do Chipre.

Na Espanha, a capacidade atual de produção de água por meio de dessalinização por osmose reversa (SWRO) é de 1,3 bilhão de metros cúbicos anualmente.⁶² Isso representa 78% da capacidade total na Europa e consome até 3.514 GWh de eletricidade por ano.⁶³ Muitas das usinas de SWRO são antigas e altamente ineficientes. No entanto, como vimos, a modernização de usinas de SWRO pode reduzir o consumo de energia para 2,0 kWh/m³, um potencial que se aplica a todas as usinas antigas. A modernização de usinas de SWRO pode reduzir 966 GWh por ano, o que representa mais de um quarto do consumo de eletricidade para SWRO na Espanha. Os operadores das usinas podem reduzir sua conta de luz em um total de 165 milhões de euros⁶⁴ além de reduzir as emissões relacionadas à eletricidade em 152.654 toneladas de CO₂e.⁶⁵

Isso não beneficia apenas o bolso do operador da usina; a Espanha enfrenta desafios com a congestão da rede e paga altos custos de restrição de geração.⁶⁶ Isso significa que a Espanha precisa tanto aumentar a produção de energia renovável quanto expandir a rede para atender à demanda futura de eletricidade. No entanto, como parte da adoção de uma abordagem mais holística para a transição energética, investir em eficiência energética em usinas de dessalinização por osmose reversa (SWRO) diminui a necessidade de expansão da rede e de construção de infraestrutura de energia renovável. Em outras palavras, ao atingir o potencial máximo de modernização das instalações de SWRO existentes, a Espanha pode economizar 15,5 milhões de euros na construção de nova rede,⁶⁷ dinheiro que pode ser redirecionado para o financiamento da transição verde.

Outro exemplo é o Chipre. Embora abrigue apenas 0,2% da população da UE,⁶⁸ o pequeno país insular representa 7,2% da capacidade de dessalinização por osmose reversa (SWRO) da UE. Quando em plena capacidade, a SWRO consome 343 GWh de eletricidade por ano,⁶⁹ o equivalente a 6,4% da produção de eletricidade de Chipre.⁷⁰ Mas muitas das centrais são antigas e ineficientes. Ao modernizá-las, é possível economizar 107 GWh. Isso representa até 2% da produção de eletricidade.⁷¹ E como 80% da eletricidade de Chipre é produzida a partir do petróleo,⁷² a modernização da SWRO pode ser uma contribuição significativa para a eliminação gradual dos combustíveis fósseis.

Superando as barreiras de produção

A produção de água é a fase mais intensiva em energia do ciclo da água. Em particular, a dessalinização requer grandes investimentos para atingir níveis de eficiência que a tornem uma solução sustentável e de longo prazo para atender à crescente demanda por água doce. Para impulsionar esses investimentos, as políticas públicas devem abordar as seguintes barreiras:

1 A produção de água consome muita energia, mas é necessária para combater a escassez

Com a crescente escassez de água, a captação de água doce — a forma padrão de acesso à água doce — está sob pressão. Isso exige que as regiões particularmente afetadas pela escassez de água explorem novas vias para a produção de água, como a dessalinização, que consome muita energia. Para solucionar esse problema, as políticas públicas devem estabelecer Padrões Mínimos de Desempenho de Eficiência (MEPS, na sigla em inglês) para os locais de produção de água. Embora o impacto possa não ser imediato, ele pode se tornar muito significativo a longo prazo, se a economia de energia justificar tais exigências. Da mesma forma, priorizar e incentivar a adoção de componentes em conformidade com a norma ISO para sistemas de bombeamento pode garantir a qualidade da fabricação, a segurança e a responsabilidade ambiental — aspectos particularmente relevantes em processos de licitação pública. Por fim, as classificações de sustentabilidade e os selos de energia podem ajudar a impulsionar a mudança por meio da demanda, em vez de criar mais regulamentações no mercado.

2 Contratos de curto prazo para operação de usinas de dessalinização desincentivam investimentos em eficiência energética

A maioria das usinas de dessalinização não é de propriedade e operada pela mesma entidade. Em vez disso, elas são frequentemente operadas sob contratos de curto prazo, o que oferece pouco incentivo aos operadores para investir em melhorias de eficiência energética. Isso ocorre porque, em alguns casos, o retorno do investimento pode se estender além do próprio período do contrato. Para solucionar esse problema, os custos das melhorias de eficiência energética devem ser compartilhados entre operadores e proprietários. Com base nas classificações de eficiência, os proprietários de usinas de dessalinização com baixas classificações de eficiência devem arcar com uma parcela maior dos custos operacionais, incentivando tanto contratos de longo prazo quanto maiores investimentos em eficiência energética.

3 Existe um equívoco em relação ao impacto ambiental das usinas modernas de dessalinização.

No passado, quando a dessalinização era feita principalmente em usinas termelétricas, o descarte de salmoura apresentava altos níveis de salinidade (ver Barreira nº 4), maiores concentrações de metais pesados e temperaturas elevadas. Isso levou à crença generalizada de que a dessalinização é, por definição, prejudicial ao meio ambiente. No entanto, a osmose reversa da água do mar não altera a temperatura da água e filtra eficazmente muitos elementos não naturais da água.⁷³ Para solucionar isso, são necessárias campanhas de informação eficazes para educar o público e os órgãos reguladores sobre os avanços positivos no impacto ambiental da dessalinização.

4 Na maioria dos países, a regulamentação frágil não exige o descarte responsável de salmoura

Embora a maioria das regulamentações sobre a qualidade da água voltadas para o descarte de salmoura aborde os níveis de salinidade na própria salmoura concentrada, elas não reconhecem o potencial aumento nos níveis de salinidade que a salmoura pode causar no ambiente em que é descartada.⁷⁴ Para solucionar isso, a regulamentação deve incentivar as melhores práticas de descarte de salmoura, como transportá-la para longe da costa, para áreas com alta circulação e fluxo de água do mar, a fim de garantir que ela seja suficientemente misturada e dispersa. Isso pode incluir a realização de avaliações ambientais para determinar os melhores locais para a descarga.

Distribuição

A segunda fase do nexos água-energia é a distribuição de água dos produtores aos usuários. Transportar água requer energia, e muitas vezes essa distribuição é feita com equipamentos ineficientes em infraestruturas ineficientes, onde ocorrem perdas tanto de energia quanto de água. Reduzir o desperdício pode ajudar a fornecer uma imagem precisa da real demanda de água.

Esta seção apresenta os desafios das redes de distribuição de água atuais — principalmente os níveis alarmantes de água não faturada que ocorrem em quase todas as regiões do mundo. Em seguida, propõe soluções para reduzir o desperdício de água e energia, incluindo o gerenciamento eficiente da pressão da rede e soluções digitais para melhor medição e detecção de vazamentos.

Água não faturada

Todos os dias, milhões de litros de água são extraídos, produzidos, tratados e distribuídos para usuários — privados e comerciais — em todo o mundo. Em muitos países, entre 30% e 60% dessa água limpa e tratada se perde na distribuição até o consumidor sem ser cobrada.⁷⁵ Essa água é chamada de água não faturada. Algumas dessas perdas ocorrem devido a medições inadequadas, erros de faturamento ou até mesmo furto de água. Há também uma pequena parcela de água não faturada que é intencional, como a água usada para combater incêndios. Grande parte dela, no entanto, ocorre devido a vazamentos evitáveis na rede de distribuição.

As taxas de água não faturada variam muito em todo o mundo, em grande parte devido à infraestrutura arcaica de distribuição. Estimativas globais apontam para um volume de água não faturada de 126 bilhões de metros cúbicos por ano. Esse nível de água não faturada equivale a um valor financeiro de US\$ 39 bilhões.⁷⁶ Se a água não faturada global fosse reduzida em apenas um terço, a água economizada seria suficiente para abastecer 800 milhões de pessoas.⁷⁷ Reduzir a água não faturada é possível com as tecnologias que temos hoje, e isso beneficiará governos locais, empresas de serviços públicos, cidadãos e o meio ambiente.

Figura 8
Água não faturada é qualquer água produzida que se perde ou é medida incorretamente antes de chegar ao consumidor



O gerenciamento inteligente da pressão pode reduzir o vazamento de água em 38%, diminuir os níveis de pressão em 37% e reduzir as rupturas de tubulações em 53%

Abordando a água não faturada

A água não faturada acarreta perdas financeiras substanciais para as empresas de serviços públicos, o que, por sua vez, dificulta o investimento em melhorias, reparos e expansões de infraestrutura. Esse problema é especialmente grave em áreas urbanas com crescimento populacional e infraestrutura envelhecida. Ele prejudica o desenvolvimento urbano e reduz a qualidade de vida e a sustentabilidade. A água não faturada também leva a consideráveis ineficiências energéticas, visto que mais água precisa ser bombeada e tratada.⁷⁸

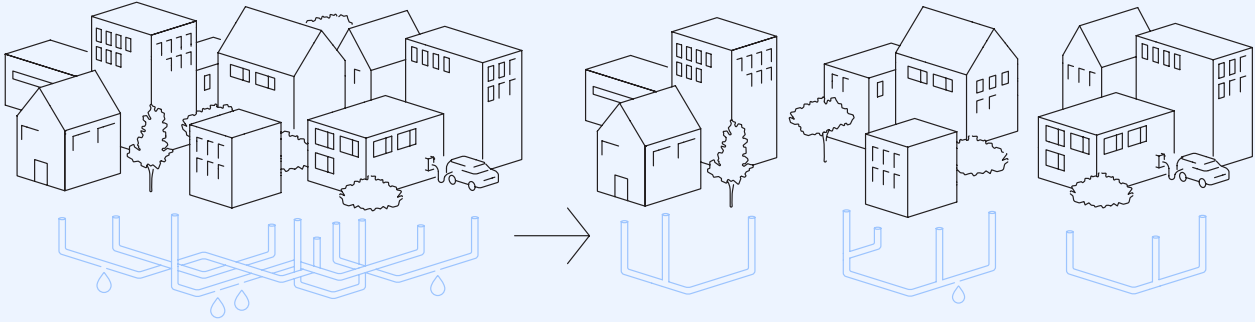
Isso também significa que as sociedades estão perdendo oportunidades por não reduzirem a água não faturada. Por exemplo, reduzir a água não faturada diminuirá a quantidade de água que precisa ser retirada dos recursos hídricos locais e permitirá que mais pessoas sejam abastecidas pela mesma fonte. Da mesma forma, os danos consequentes causados por vazamentos serão reduzidos. Finalmente, de uma perspectiva econômica, a receita aumentará porque a água que antes era perdida agora pode chegar ao consumidor.

Combater o desperdício de água não faturada não é uma tarefa simples e historicamente tem sido bastante custosa, mas os avanços tecnológicos tornaram possível a aplicação de soluções digitais em toda a rede de distribuição. Isso pode ajudar a detectar vazamentos e reduzir o consumo de energia para o bombeamento de água de forma muito

mais econômica do que as soluções convencionais. Soluções como sensores, bombas e inversores de frequência (VSD) podem reduzir as perdas de água e aumentar a eficiência energética das redes de distribuição (veja o caso "Sistemas inteligentes de controle e monitoramento de bombas trazem grandes reduções de energia e vazamentos").⁷⁹

Tudo isso pode ser feito hoje e trará benefícios tanto sociais quanto econômicos. Por exemplo, permitirá que os municípios recuperem os custos incorridos com o tratamento e o bombeamento. **Uma cidade de porte médio que produz 450.000 metros cúbicos por dia, mas que perde 25% da água como água não faturada, está incorrendo em mais de 13 milhões de dólares por ano em despesas não recuperáveis com mão de obra, produtos químicos e energia.**⁸⁰

Em outro exemplo do Chile, duas empresas de abastecimento de água implementaram soluções de software de Internet das Coisas (IoT) para reduzir a água não faturada. Elas reduziram as perdas reais, como as causadas por vazamentos, em 13 milhões de metros cúbicos por ano, e as perdas aparentes, que podem ser causadas por medição inadequada ou furto, em 3,1 milhões de metros cúbicos de água por ano. No total, **a água não faturada foi reduzida em 8%, resultando em uma economia de 5,8 milhões de euros em três anos.**⁸¹



Estudo de caso

Sistemas inteligentes de controle e monitoramento de bombas proporcionam reduções significativas no consumo de energia e na ocorrência de vazamentos

Em muitos países, mais de 30% da água tratada se perde antes de chegar aos consumidores.⁸² Essas perdas não são apenas um desperdício — elas aumentam as contas de energia, elevam os custos operacionais e exercem pressão adicional sobre os recursos hídricos já sobrecarregados.

Um dos principais culpados é a pressão descontrolada da água. Assim como encher demais um balão aumenta a probabilidade de ele estourar, a pressão excessiva em um cano aumenta a chance de vazamentos, especialmente em redes mais antigas ou frágeis. Os picos de pressão podem sobrecarregar a infraestrutura e acelerar o desgaste ao longo do tempo. O gerenciamento inteligente da pressão ajuda a manter os níveis de pressão estáveis e adequados às necessidades locais. Ao dividir a rede em zonas de pressão, as concessionárias podem ajustar a pressão da água com mais precisão. Isso reduz vazamentos e o consumo desnecessário de energia relacionado à perda de água.⁸³ De fato, essa abordagem pode reduzir os vazamentos de água em 38%, a pressão em 37% e os incidentes de rompimento de canos em 53%, prolongando significativamente a vida útil da infraestrutura.⁸⁴

As tecnologias modernas tornam isso mais fácil do que nunca. Sensores digitais e sistemas de monitoramento centralizados fornecem isibilidade em tempo real das condições da rede.

Os controles de bomba variáveis, alimentados por inversores de frequência (VSDs), podem ajustar a pressão com base na demanda real — de forma semelhante a como um termostato regula a temperatura ambiente, utilizando apenas o aquecimento ou resfriamento necessário. Esse controle suave e adaptativo também ajuda a evitar picos repentinos de pressão. Esses choques de pressão podem rachar tubulações, soltar juntas ou danificar válvulas, o que contribui para vazamentos dispendiosos e desperdício de água. Ao ajustar a velocidade da bomba gradualmente, os VSDs ajudam a proteger a infraestrutura e a reduzir as necessidades de manutenção, otimizando o consumo de energia.

Os resultados são claros. Na Alta Silésia, Polônia, a introdução de zonas de pressão e detecção digital de vazamentos reduziu o consumo de energia em 12% em apenas um ano.⁸⁵ No norte do Irã, um sistema que atende a mais de 44.000 pessoas alcançou uma redução de 41,7% nos vazamentos e uma queda de 28,4% no consumo de energia, ajustando continuamente a vazão da bomba para corresponder às condições em tempo real.⁸⁶ Mesmo atualizações relativamente simples podem gerar economias significativas. Com ferramentas digitais e controle inteligente de bombas, as concessionárias podem reduzir as perdas de água e energia.

Em muitos países, mais de 30% da água tratada se perde antes de chegar aos consumidores, resultando em desperdício de água e energia.

Superando as barreiras de distribuição

As redes de distribuição de água estão entre as partes mais obsoletas do sistema hídrico. A infraestrutura apresenta vazamentos e está ultrapassada, causando perdas de água que impactam tanto a fase montante quanto a jusante do ciclo da água. O gerenciamento inadequado da pressão leva a perdas de água ainda maiores, além de aumentar a energia utilizada para levar a água até o consumidor. Picos de pressão devido a vazamentos ou aumentos repentinos no consumo levam à necessidade de reparos dispendiosos e ao aumento dos custos de energia.

1

Investimento no combate à água não faturada

Estimativas globais apontam que o volume de água não faturada é de 126 bilhões de metros cúbicos por ano. Esse nível de água não faturada representa um valor financeiro de aproximadamente US\$ 39 bilhões e exerce uma pressão significativa sobre a infraestrutura de produção e distribuição de água. Também representa um risco humanitário: se a água não faturada global fosse reduzida em apenas um terço, a água economizada seria suficiente para abastecer 800 milhões de pessoas.⁸⁷ **Para resolver isso**, cidades e concessionárias de serviços públicos devem empregar tecnologias existentes para gerenciar melhor o controle de pressão. Isso reduzirá o desgaste das tubulações e dos equipamentos do sistema. Da mesma forma, a modernização das redes com soluções digitais permitirá que as operadoras de serviços públicos colem dados em tempo real sobre as condições da rede (veja as Barreiras nº 2 e nº 3 para mais detalhes).

2

Controle inadequado de pressão em redes de distribuição de água

Redes e infraestruturas em mau estado necessitam de maior pressão para fornecer a água necessária aos consumidores, mas o controle dessa pressão precisa ser constantemente adaptado à demanda atual. **Para resolver isso**, tecnologias como inversores de frequência e sensores inteligentes podem ajustar a pressão para atender à necessidade exata, garantindo menor desgaste da infraestrutura e evitando pressões desnecessariamente altas na rede, que acarretam altos custos de energia. No entanto, superar os custos de investimento exige um ambiente político que incentive a adoção de tecnologias eficientes em termos de água e energia.

3

Falta de dados sobre redes de distribuição de água

A capacidade de adaptar a pressão da água para atender às necessidades exatas exige dados em tempo real. O baixo grau de digitalização no setor significa que há pouco acesso a dados que podem gerar grandes economias de energia, água e custos. **Para resolver isso** é fundamental promover a digitalização das redes de distribuição de água por meio de conscientização e incentivos. Em particular, é necessário focar no gerenciamento avançado de pressão e na detecção de vazamentos para minimizar e identificar rapidamente vazamentos, minimizando a água não faturada e os custos de energia relacionados. O aumento da digitalização e da disponibilidade de dados permite ainda localizar ineficiências até o nível da bacia hidrográfica e pode levar a mais inovação na área.

Consumo

A água é consumida em todos os setores da sociedade e é essencial para a produção de alimentos, roupas, carros e para a própria vida. No entanto, apesar dos crescentes níveis de escassez e insegurança hídrica, a demanda por água continua a aumentar à medida que as populações crescem e novos usos industriais surgem. O primeiro e mais importante passo para reduzir a escassez de água é diminuir o consumo sempre que possível.

Esta seção identifica diversos setores e usos finais com alto consumo de energia, nos quais existe um grande potencial para reduzir o consumo de água. Em particular, concentra-se nos desafios e soluções para diminuir a demanda por água e energia na agricultura, na indústria e em data centers.

Agricultura

A agricultura é o maior setor consumidor de água do mundo, respondendo por aproximadamente 72% da extração global de água doce.⁸⁸ No entanto, apesar de seu papel vital na produção de alimentos e recursos, o uso da água na agricultura é frequentemente subótimo. De fato, o Fundo Mundial para a Natureza (WWF) estima que cerca de 60% do consumo de água na agricultura seja desperdiçado, em parte devido a sistemas de irrigação com vazamentos e sistemas de aplicação ineficientes.⁸⁹ Além disso, mais da metade da expansão da irrigação neste século ocorreu em áreas que já apresentavam estresse hídrico no início do século.⁹⁰ Ademais, estima-se que o consumo de água para irrigação ainda precisará aumentar em 146% até meados do século XXI.⁹¹ A crescente demanda por água para irrigação é um desafio imenso, e não há uma solução simples para ele. Em vez disso, o desafio deve ser enfrentado por meio de diversas abordagens. Por exemplo, embora a irrigação possa ser bastante reduzida por meio de métodos como a seleção estratégica de culturas e o planejamento do uso da terra, as soluções tecnológicas também podem reduzir significativamente o consumo de água. Existem métodos e tecnologias inovadoras para reduzir o desperdício e os custos, otimizando o uso de água e energia.

Irrigação eficiente para economiade água e energia

A irrigação é um processo que consome muita energia, pois a água precisa ser transportada de uma fonte, como poços ou rios, e distribuída por uma grande área de plantações. Embora a irrigação quase sempre exija muita energia, a eficiência da tecnologia utilizada em muitos casos poderia ser bastante aprimorada. Por exemplo, um estudo estimou que, com a melhoria dos métodos de irrigação e a utilização de tecnologias mais avançadas,

o consumo de água poderia ser reduzido em até 68% globalmente, em comparação com os métodos tradicionais de irrigação.⁹²

Além disso, a modernização dos sistemas de irrigação com tecnologias mais eficientes, como inversores de frequência (VFD), sensores inteligentes e bombas elétricas, pode reduzir significativamente a energia necessária para a irrigação. Há vários casos em que os VFDs, por si só, reduziram o consumo de energia relacionado à irrigação pela metade, dependendo das condições de operação.^{93, 94}

Os métodos modernos de irrigação são mais eficientes no uso da água porque direcionam a água diretamente às raízes de forma controlada, minimizando a perda de água que ocorre por evaporação e escoamento superficial. Imagine a diferença entre regar seu jardim com uma mangueira aberta no máximo (irrigação por superfície) e usar um sistema de irrigação lento diretamente na base de cada planta (irrigação por gotejamento).

Além dos métodos de irrigação, existe também um potencial significativo ainda inexplorado na modernização das tecnologias de irrigação. Globalmente, 74% da energia utilizada no bombeamento de água subterrânea para irrigação provém de bombas movidas a diesel, enquanto apenas 26% deriva de bombas elétricas. As bombas movidas a diesel normalmente consomem mais do que o dobro da energia das bombas elétricas, e a substituição das bombas movidas a diesel por bombas elétricas novas e mais eficientes poderia reduzir o consumo de energia em 51%, o que se traduz em economias substanciais de custos e reduções de emissões.⁹⁵ Em áreas mais remotas com acesso limitado à rede elétrica, a transição para bombas elétricas pode ainda não ser viável, mas os avanços contínuos em infraestrutura e tecnologia estão melhorando a viabilidade da eletrificação na agricultura. Nesses casos, soluções fora da rede, como sistemas de irrigação alimentados por baterias,

A demanda por água para a indústria e energia deve crescer para 24% até 2050, impulsionada pela expansão dos setores de manufatura e tecnologia.

podem desempenhar um papel fundamental no apoio à mudança para uma maior eletrificação. No final das contas, a viabilidade de qualquer solução dependerá do contexto local e da localização geográfica.

De fato, já é possível obter ganhos substanciais de eficiência e reduções de emissões hoje mesmo, apenas com a implementação de métodos e tecnologias de irrigação existentes e comprovados.

Indústria

Globalmente, a indústria é responsável por cerca de 15% de toda a extração de água doce.⁹⁶ Além disso, a demanda de água para a indústria e energia deverá crescer para 24% até 2050,⁹⁷ mpulsionada pela expansão dos setores de manufatura e tecnologia. Em todas as suas formas, a água é um pilar da produção industrial. Seja para resfriamento, lavagem, diluição, processamento, transporte ou integração em produtos, a água é fundamental para quase todas as etapas da atividade industrial. Assim como a energia, a água é um recurso essencial que mantém a indústria em funcionamento. Mas, no cenário atual, a indústria não pode mais considerar a água como um recurso garantido.

Devido ao aumento dos custos de energia e água, a indústria está sendo forçada a repensar como a água é obtida, utilizada e reutilizada em suas operações. Para as indústrias que operam em regiões com escassez hídrica, os riscos são ainda maiores. Em algum momento entre 2030 e 2040, 40% das fábricas de semicondutores do mundo estarão localizadas em regiões que enfrentam estresse hídrico elevado ou extremo.⁹⁸ Os semicondutores são importantes para a mobilidade elétrica, energias renováveis e muitas outras indústrias essenciais para a transição verde. No entanto, sua produção também exige

um alto consumo de água. Essa sobreposição arriscada entre a alta demanda por água e a crescente escassez hídrica pode comprometer a resiliência industrial.

Outras indústrias com uso intensivo de água também enfrentam riscos operacionais crescentes, como a produção de alimentos e bebidas. Por exemplo, a produção de um quilograma de cereais requer 1.644 litros de água, enquanto a produção de ovos requer 3.265 litros. A produção de carne é ainda mais intensiva em água, com a carne suína (5.988 litros), a carne ovina/caprina (8.763 litros) e a carne bovina (15.415 litros) liderando a lista, juntamente com as nozes (9.063 litros).⁹⁹ Embora grande parte dessa pegada hídrica provenha da produção agrícola para ração animal, também há uma quantidade considerável de água utilizada no próprio processamento de alimentos. Nas instalações de produção, a água é utilizada em processos como limpeza, aquecimento e cozimento — todos os quais requerem energia para bombeamento, pulverização, fervura e muito mais.

O mesmo se aplica à produção de bebidas, onde geralmente são necessários de 4 a 6 litros de água para produzir um litro de cerveja.¹⁰⁰ No entanto, mesmo na produção em escala industrial, a implementação estratégica de equipamentos com uso eficiente da água e técnicas de gestão hídrica pode reduzir esse consumo quase pela metade (ver o caso “Carlsberg Poland adota abordagem holística para reduzir a intensidade hídrica”).

Seja na produção de semicondutores, carne bovina ou cerveja, o setor industrial emprega muitos processos que consomem muita energia e água, os quais podem ser otimizados por meio de soluções mais eficientes em termos energéticos. Como visto no caso da Carlsberg Polônia na página 31, isso é especialmente verdadeiro não apenas quando se considera a eficiência de componentes individuais, mas também quando se prioriza a eficiência geral do sistema.

Estudo de caso

A Carlsberg Polônia adota uma abordagem holística para reduzir a intensidade do consumo de água.

A produção de bebidas é um processo que consome muita água, e na Carlsberg Polônia estão sendo tomadas medidas impressionantes para reduzir a quantidade de água necessária para produzir uma cerveja. A Carlsberg Polônia está reduzindo seu consumo de água por meio de uma abordagem sistêmica como parte de sua área de foco ESG "Zero Desperdício de Água".

Em todas as quatro instalações na Polônia, a Carlsberg está recuperando e reutilizando água cada vez mais, investindo em equipamentos com uso eficiente da água, monitorando o consumo de água para identificar oportunidades de economia e detectar vazamentos, melhorando os hábitos de consumo de água dos funcionários, definindo metas mensuráveis e incluindo atividades relacionadas à água nas metas de bônus de funcionários selecionados.

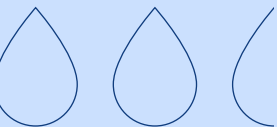
Todas essas medidas, em conjunto, melhoraram a eficiência hídrica na produção da Carlsberg Poland. Desde 2015, a empresa conseguiu reduzir seu consumo relativo de água em 17%. Como resultado, a Carlsberg Poland agora utiliza apenas 2,55 litros de água para produzir um litro de cerveja.¹⁰¹ Isso representa uma melhoria significativa em relação aos padrões de mercado, onde normalmente são necessários entre 4 e 6 litros de água para produzir um litro de cerveja.¹⁰² Ao aprimorar ainda mais esses processos, a empresa pretende reduzir a proporção de água para cerveja para 2:1 até 2030.

Eficiência hídrica na produção de cerveja

Carlsberg Polônia

2,55 L

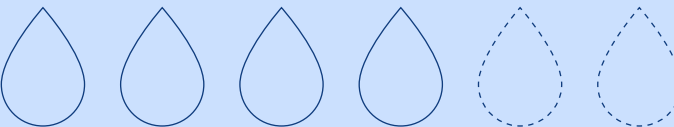
de água para produzir um litro de cerveja



Padrão de mercado

4-6 L

de água para produzir um litro de cerveja



Data Centers

A crescente demanda energética dos data centers recebe muita atenção no debate em torno da ascensão da IA e das tecnologias digitais, e por um bom motivo: a demanda global de energia para data centers deverá dobrar até 2030. No entanto, o que é menos discutido é a pegada hídrica dos data centers. Alguns data centers têm um nível muito alto de consumo de água, tanto diretamente para resfriar seus servidores quanto indiretamente por meio de seu alto consumo de eletricidade gerada por combustíveis fósseis, que por sua vez requer grandes quantidades de água para resfriamento. Globalmente, os data centers consomem 560 bilhões de litros por ano, e isso pode aumentar para 1,2 trilhão em 2030.¹⁰³ Isso é seis vezes a captação total de água doce da UE em 2022.¹⁰⁴ Aumentar a eficiência de resfriamento dos data centers é essencial para reduzir o consumo de energia e água.

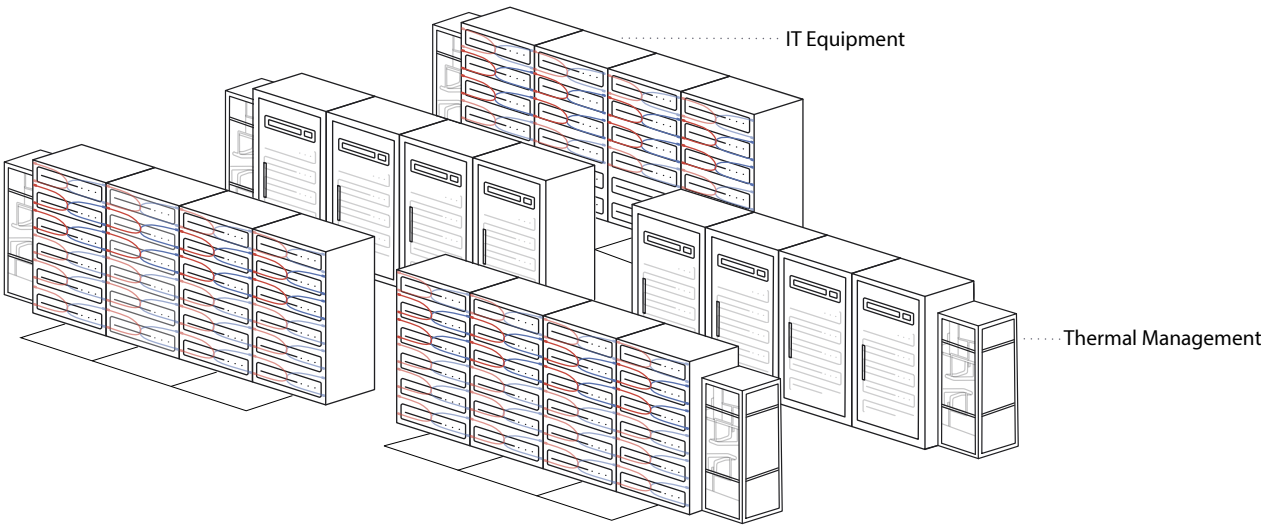
Reduzindo a demanda de água e energia para o resfriamento de data centers

Historicamente, os data centers têm se baseado amplamente em sistemas que resfriam servidores usando ar — seja por meio de resfriamento a ar seco ou resfriamento evaporativo.¹⁰⁵ Ambas as tecnologias de resfriamento têm sido eficazes para garantir temperaturas operacionais ideais para chips e servidores. No entanto, à medida que a demanda por dados aumenta e se torna mais complexa devido à crescente adoção de IA, aprendizado de máquina e serviços de internet, os chips que alimentam esses serviços se tornaram significativamente mais poderosos e, portanto, cada vez mais intensivos em calor. Em termos mais simples, cada servidor agora gera muito mais calor, concentrado em aproximadamente o mesmo espaço físico. Esse aumento na densidade de potência está levando os métodos tradicionais de resfriamento a ar ao seu limite. O desafio é particularmente agudo para o resfriamento evaporativo, que depende de grandes volumes de água.

Como resultado, muitos operadores estão agora recorrendo a tecnologias mais eficientes e que economizam água, como o resfriamento líquido direto no chip, que opera em um circuito fechado de água. Além de serem mais eficazes em aproximar fisicamente a água fria da fonte de calor (ou seja, as unidades de processamento), **o resfriamento líquido consome muito menos água em comparação com os sistemas tradicionais de resfriamento evaporativo. Os sistemas de resfriamento líquido direto no chip também são pelo menos 15% mais eficientes em termos de energia do que seus equivalentes de resfriamento a ar.**¹⁰⁶ Eles também facilitam a recuperação e a reutilização das grandes quantidades de calor residual produzidas pelos data centers para outros fins (veja o caso “Resfriamento líquido otimiza a reutilização do calor residual do data center” na pág. 34).

Outras formas importantes de resfriamento líquido, conhecidas como imersão "monofásica" e "bifásica", também existem — embora ainda estejam em desenvolvimento e raramente sejam implementadas em ambientes comerciais. Esses processos envolvem a imersão completa de racks de servidores em fluidos de resfriamento não condutores para manter as temperaturas operacionais. Embora esses métodos prometam eficiência energética e hídrica, também apresentam desvantagens — como alta inflamabilidade, que gera preocupações com a segurança, alta viscosidade, que pode dificultar o bombeamento, ou o uso de fluidos altamente regulamentados.

O resfriamento líquido para data centers é a maneira mais eficiente e eficaz de atender à crescente demanda por data centers de alta densidade e orientados à inteligência artificial, minimizando também o impacto nos sistemas de água e energia e, consequentemente, no clima. A escolha do sistema de resfriamento líquido mais adequado para um determinado data center dependerá da disponibilidade de recursos locais, das normas regulatórias e da capacidade de resfriamento necessária.



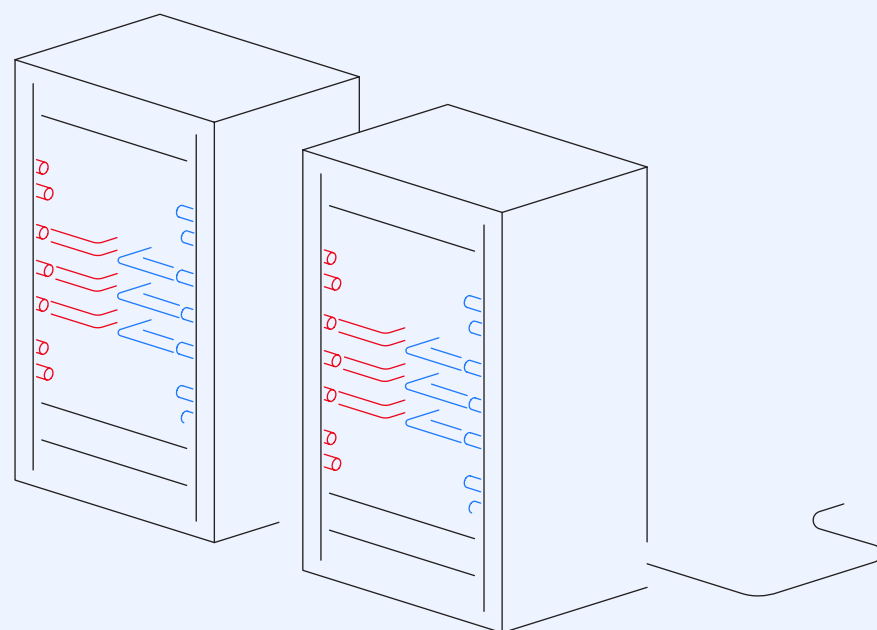
Termos-chave: Eficiência do centro de dados

Existem diversas métricas importantes que os formuladores de políticas devem compreender ao avaliar o desempenho dos centros de dados:

- **A Eficiência do Uso da Água (EUA)** é a relação entre o uso de água nos sistemas de um data center e o consumo de energia dos equipamentos de TI. Quanto menor a relação EUA-E de um data center, mais eficiente é o seu uso dos recursos hídricos.
- **A Eficiência do Uso de Energia (EUE)** é uma relação que descreve a eficiência com que um data center utiliza energia — especificamente, quanta energia é usada pelos equipamentos de computação. A EUA-E é a relação entre a quantidade total de energia usada por uma instalação de data center e a energia fornecida aos equipamentos de computação.
- **O Fator de Reutilização de Energia (FRE)** é a relação entre a energia reutilizada (por exemplo, como calor residual capturado) e a soma de toda a energia consumida em um data center. O FRE reflete a eficiência do processo de reutilização, que não faz parte do data center em si.

- **A Eficácia do Uso de Carbono (CUE, na sigla em inglês)** é uma métrica desenvolvida pela The Green Grid para medir a sustentabilidade de data centers em termos de emissões de carbono. A CUE é a razão entre as emissões totais de CO₂ causadas pelo consumo total de energia do data center e o consumo de energia dos equipamentos de TI.
- **O Fator de Energia Renovável (REF, na sigla em inglês)** representa a razão entre o consumo total de energia renovável e o consumo total de energia. Semelhante à CUE, essa métrica ajuda a compreender a intensidade de carbono da energia consumida em um data center.

Cada uma dessas métricas pode ser aplicada à avaliação de desempenho de um tipo ou centro de dados real, por meio de modelagem ou avaliação de desempenho em tempo real, para ajudar a determinar os custos financeiros e os impactos ESG (e melhorias de impacto) de um centro.



Estudo de caso

O resfriamento líquido otimiza o reaproveitamento do calor residual em data centers

O crescente excesso de calor gerado pelas potentes unidades de processamento em centros de dados modernos não só exige que os operadores adotem métodos inovadores de refrigeração, como também pode ser reutilizado para atender à demanda de calor em outros locais. De fato, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), **o calor residual dos centros de dados pode suprir 10% da demanda de aquecimento de ambientes na Europa até 2030.**¹⁰⁷

Como isso funciona? Embora os maiores data centers estejam localizados muito longe das áreas urbanas para que o calor residual seja aproveitado de forma significativa, o excesso de calor desses centros pode suprir 300 TWh de demanda térmica para consumidores em um raio de poucos quilômetros.¹⁰⁸ Por exemplo, um projeto apoiado pelo governo do Reino Unido aquecerá 10.000 residências e 250.000 m² de espaço comercial com o calor residual de data centers próximos.¹⁰⁹ No futuro, se os tomadores de decisão e os planejadores urbanos planejarem de forma holística e estratégica, o potencial poderá ser muito maior.

Do ponto de vista técnico, os sistemas de resfriamento a ar para centros de dados tradicionalmente exigiam

bombas de calor para capturar e elevar o calor residual a temperaturas utilizáveis. No entanto, **os sistemas de resfriamento líquido podem fornecer calor a temperaturas mais elevadas (+40 °C), que, após ser aquecido, pode ser diretamente reaproveitado em redes de aquecimento urbano.**¹¹⁰ O resfriamento líquido captura o calor diretamente dos componentes do servidor usando um fluido com condutividade térmica e capacidade térmica muito superiores às do ar, permitindo que ele saia do data center em temperaturas muito mais altas. Isso elimina as perdas de calor e as limitações de temperatura do resfriamento a ar, tornando o calor imediatamente adequado para reutilização em redes de aquecimento urbano de baixa temperatura, sem a necessidade de uma bomba de calor.

Essa reutilização do calor residual não é apenas mais eficiente, mas também mais economicamente viável. A Agência Internacional de Energia (IEA) relatou que o calor residual de data centers pode abastecer redes de aquecimento urbano a um custo de € 190.000 a € 250.000 por megawatt de calor, em comparação com mais de € 730.000 por megawatt de calor proveniente de uma usina de cogeração a gás natural sem emissões controladas.¹¹¹

Superando as barreiras de consumo

A demanda por água é impulsionada principalmente por dois setores: agricultura e indústria. No entanto, o avanço da IA e a infraestrutura de dados correspondente representam um novo desafio para o aumento da demanda por água e energia. Esses efeitos são sentidos sobretudo em nível local.¹¹² Superar as barreiras nesses setores e usos finais exigirá uma combinação de técnicas modernas de gestão de água e energia, tecnologias mais eficientes e métodos inovadores de contabilização da água.

1

A eficiência hídrica é subpriorizada e muita água está sendo desperdiçada

O desperdício de água ocorre em todas as etapas do processo de consumo, especialmente em alguns dos setores de maior consumo, como agricultura, indústria e data centers. Para solucionar esse problema, a implementação do princípio "Eficiência Hídrica em Primeiro Lugar", como sugerido na União Europeia, garantirá que os padrões de eficiência hídrica sejam aplicados em todas as áreas.

2

A precificação da água é um debate complexo e controverso

A água precisa ser barata para garantir o acesso fácil a esse recurso vital. No entanto, preços baixos também incentivam o uso excessivo, o que ameaça a resiliência dos sistemas hídricos a longo prazo. Para resolver isso, precisamos de maior transparência sobre o preço real da água, o que exige uma coleta de dados mais abrangente. Isso demandará melhores sistemas de monitoramento digital, tanto no nível de distribuição quanto no de consumo. Uma visão mais clara do preço real da água ajudará a fortalecer os planos de negócios e a mapear o impacto do consumo de água nas redes e recursos hídricos locais.

3

A IA e os centros de dados podem representar um desafio local para a resiliência hídrica

A expansão dos data centers e sua alta demanda por energia e água não devem parar tão cedo, e o consumo de água desses centros pode representar desafios locais para a resiliência hídrica. Para solucionar isso, os formuladores de políticas públicas devem se concentrar no processo que mais consome água nos centros de dados: o resfriamento. A transição para o resfriamento líquido já está em andamento por pura necessidade tecnológica, mas nem todas as formas de resfriamento líquido são iguais. Elas variam em termos de eficiência energética, eficiência hídrica e riscos ambientais — fatores que devem ser levados em consideração na criação de regulamentações para o setor. Da mesma forma, para os operadores de data centers, a realização de avaliações do ciclo de vida para centros de dados existentes e futuros é fundamental para entender seu impacto a longo prazo na disponibilidade de recursos nas comunidades locais.

4

Métodos de irrigação que economizam água continuam subutilizados

Sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão podem reduzir drasticamente o consumo de água em comparação com a irrigação de superfície tradicional. As barreiras incluem altos custos iniciais de investimento, capacidade técnica limitada para instalação e falta de incentivos econômicos. No entanto, apesar do investimento, esses sistemas aprimorados geralmente têm custos operacionais mais baixos, resultando em um custo total de propriedade (CTP) menor ao longo do tempo. Para solucionar esse problema, os formuladores de políticas públicas devem considerar o apoio financeiro aos agricultores que investem em irrigação com uso eficiente da água, como subsídios, empréstimos com juros baixos ou incentivos fiscais. Tais mecanismos devem priorizar projetos com baixo custo operacional e CTP reduzido.

Tratamento e Reúso

A última, ou melhor, a primeira etapa do ciclo econômico da água é a fase de tratamento e reúso. Essa fase é de transição, agregando novo valor à água ao restaurar a água contaminada a um nível adequado para distribuição e consumo. O tratamento e o reúso fecham o ciclo da água, garantindo que ela não se torne um recurso de uso único, mas sim parte de um sistema circular e eficiente em termos de recursos, onde a água é fornecida de forma eficiente.

Dentro dessa fase, duas áreas se destacam em termos de intensidade energética e potencial de impacto: o tratamento de efluentes e o reúso de água industrial. Ambas representam grandes oportunidades para decarbonizar os sistemas hídricos, ao mesmo tempo que aumentam a resiliência dos recursos. Esta seção apresentará os desafios e as soluções dentro desses dois processos.

Tratamento de águas residuais

Quando a água é utilizada, muitas vezes torna-se poluída — seja por meio de residências, indústrias ou agricultura. Pense, por exemplo, na água descartada em um vaso sanitário ou drenada de uma fábrica. Essa água precisa ser tratada em estações de tratamento de águas residuais (ETARs) antes de poder ser liberada com segurança no meio ambiente ou reutilizada.

No entanto, o tratamento de águas residuais consome muita energia. Desde o bombeamento e aeração até o manuseio e a desinfecção do lodo, cada etapa requer um aporte energético significativo. De fato, os sistemas de água e esgoto representam aproximadamente 4% do consumo global de eletricidade, sendo o tratamento de águas residuais um dos principais contribuintes.¹¹³

Estudos constataram que as ETARs podem consumir entre 30% e 40% do orçamento total de eletricidade de um município. Além disso, as contas de luz são o segundo maior custo operacional para as concessionárias de tratamento de águas residuais, depois da mão de obra.¹¹⁴ ¹¹⁵ Essas estações costumam ser obsoletas, operando com equipamentos de velocidade fixa e sistemas de monitoramento limitados, resultando em desperdício de energia e ineficiências nos processos. A modernização das estações de tratamento de águas residuais é um passo crucial para fortalecer a resiliência do setor hídrico e, ao mesmo tempo, reduzir sua dependência do sistema energético.

Ao digitalizar as operações e otimizar o controle de processos, as estações de tratamento de águas residuais podem reduzir significativamente o consumo de energia e os custos operacionais. Por exemplo, a instalação de inversores de frequência (VSD) permite que motores e bombas se ajustem à demanda em tempo real, em vez de operarem em velocidades fixas, melhorando a eficiência em todo o sistema. Em tanques de aeração, onde o ar é bombeado para as águas residuais para auxiliar na decomposição biológica de poluentes, os VSDs permitem que os sopradores correspondam à demanda exata de oxigênio dos microrganismos, em vez de operarem continuamente em potência máxima. Sistemas de monitoramento baseados em sensores desempenham um papel fundamental nesse processo, fornecendo dados em tempo real que permitem o ajuste automático das velocidades das bombas e dos sopradores.¹¹⁶ Essas melhorias não apenas reduzem o consumo de energia, mas também diminuem o desgaste dos equipamentos e prolongam a vida útil dos ativos, como demonstrado na prática por instalações como a estação de tratamento de águas residuais de Marselisborg (ver caso “Digitalização da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Marselisborg”).

Alcançando a neutralidade energética em estações de tratamento de águas residuais

As águas residuais não são apenas um resíduo — elas contêm quantidades significativas de energia embutida. Com as tecnologias certas, essa energia pode ser recuperada sistematicamente. O lodo pode ser extraído das águas residuais e bombeado para digestores. Estes produzem biogás, principalmente metano, que pode então ser queimado para gerar calor e eletricidade. Antes de a água tratada ser liberada, ela pode ser resfriada com uma bomba de calor, que extrai o calor residual para ser fornecido à rede de aquecimento urbano local. Consequentemente, as estações de tratamento de águas residuais têm o potencial de se transformarem de consumidoras de energia em produtoras de energia.

Estudo de caso

Desvincular o crescimento da demanda por estações de tratamento de águas residuais do consumo de eletricidade na China

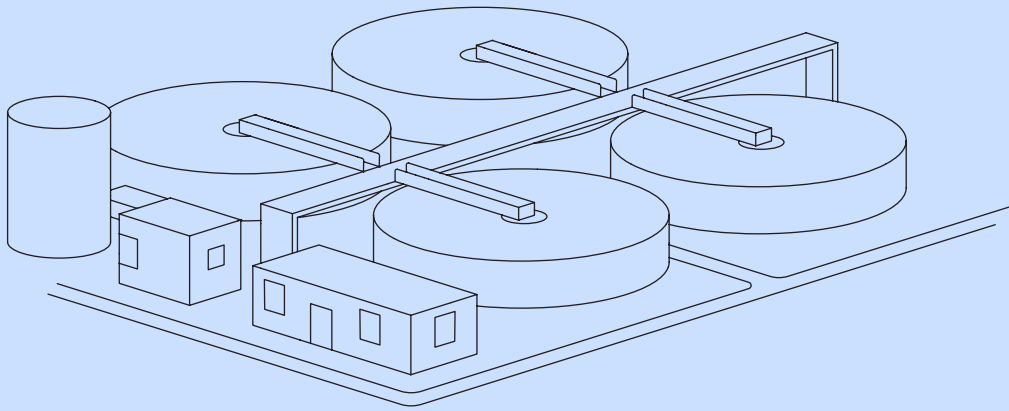
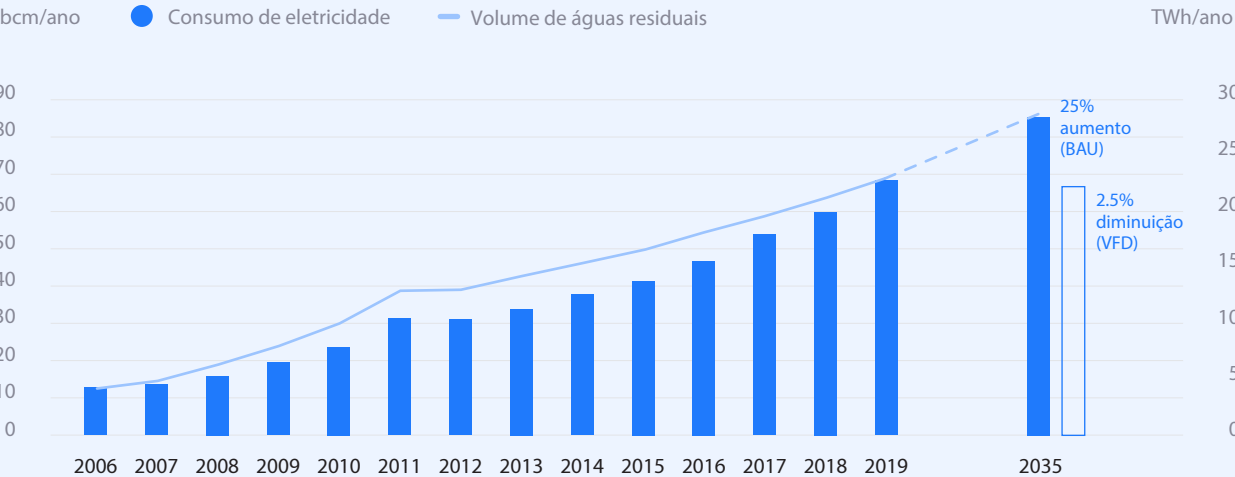
Devido à rápida urbanização e industrialização, a China enfrenta o desafio de tratar um volume crescente de águas residuais. Embora o país tenha conseguido tratar cinco vezes mais água entre 2006 e 2019, não conseguiu diminuir o consumo relativo de eletricidade das ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) no mesmo período (Figura 9). Além disso, a China ambiciona tratar 95% de suas águas residuais — meta que está cumprindo atualmente.¹¹⁷ Se o setor chinês de tratamento de águas residuais não reduzir o consumo de eletricidade, isso exercerá uma enorme pressão sobre a rede elétrica. Da mesma forma, como uma grande proporção das contas de energia dos municípios é gasta no tratamento de águas residuais, a redução do consumo de energia das ETEs pode gerar economias significativas.

Em vista do crescimento urbano e industrial, se o desenvolvimento de 2006 a 2019 continuar, a China muito provavelmente precisará tratar pelo menos 25% mais água até 2035.¹¹⁸ Embora as estações de tratamento de águas residuais (ETARs) possam reduzir seu consumo de eletricidade em 55% até 2040, recuperando a energia contida na matéria orgânica,¹¹⁹ essa não é uma solução aplicável a todos os lugares. Por exemplo, em muitas cidades da China, essa não é uma solução economicamente viável porque a água da chuva relativamente limpa e o

esgoto compartilham os mesmos canos, o que significa que a concentração de matéria orgânica diminui significativamente. No entanto, uma solução que se aplica à China — os inversores de frequência (VSDs) — pode gerar uma economia de eletricidade entre 20% e 60%. Eles proporcionam essa economia garantindo que os motores, que de outra forma seriam altamente ineficientes, que operam as ETARs, forneçam apenas a produção necessária e, portanto, usem apenas a energia de que precisam. Os VSDs geralmente têm um tempo de retorno do investimento de um a cinco anos, dependendo principalmente dos preços da eletricidade.

Se a China instalar VSDs em todas as novas ETEs e modernizar as existentes, poderá tratar 25% mais águas residuais até 2035 e usar 2,5% menos eletricidade do que em 2019. No entanto, se a China perder esta oportunidade, o setor consumirá 25% mais eletricidade para tratar a mesma quantidade de água.¹²⁰ Isto aplica potenciais de poupança conservadores para os VSDs. Além disso, existe um potencial significativo na modernização do motor. Muitos motores são antigos e ineficientes, e a combinação de um motor moderno com um VSD pode realmente dissociar a crescente procura das ETEs do consumo de eletricidade.

Figura 9
Volume de águas residuais e consumo de eletricidade na China de 2006 a 2019,^{121, 122} e projeção do volume de águas residuais e do consumo de eletricidade até 2035 em um cenário de manutenção do business-as-usual (BAU) e em um cenário de eficiência energética por meio de VFDs. No cenário de VFDs, as ETEs existentes são adaptadas com VFDs, enquanto todas as novas ETEs são preparadas com VFDs desde o início.



Estudo de caso

Digitalização da ETE de Marselisborg

Em Aarhus, na Dinamarca, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Marselisborg, operada pela Aarhus Water, demonstrou como a digitalização e a otimização energética podem transformar uma concessionária convencional em um sistema com balanço energético positivo. Entre 2016 e 2021, a ETE de Marselisborg produziu consistentemente 100% mais energia do que consumiu para tratar o esgoto. Esse excedente de energia foi suficiente para abastecer todo o ciclo da água de uma cidade de 200.000 habitantes, incluindo a distribuição de água potável e a recuperação de esgoto. Dessa forma, a concessionária efetivamente desvinculou os serviços de água da cidade da demanda externa de energia.¹²³

Essa conquista foi impulsionada principalmente pela digitalização e automação estratégicas, que representaram aproximadamente 70% das melhorias gerais de eficiência. Um total de 125 inversores de frequência (VFDs) foram instalados em equipamentos acionados por motor em toda a estação, permitindo o controle preciso do consumo de energia em tempo real. Esses VFDs foram combinados com uma rede de sensores online que forneciam continuamente dados operacionais críticos. Essa infraestrutura permitiu que os sistemas de controle da usina calculassem automaticamente os pontos de ajuste ideais para os equipamentos, garantindo que o desempenho fosse otimizado de forma consistente e minimizando o desperdício de energia.¹²⁴

Além da economia de energia, Marselisborg também destaca o potencial das águas residuais como fonte de calor. O calor residual das águas residuais tratadas pode ser recuperado e bombeado para redes de aquecimento urbano, podendo suprir de 10 a 15% da demanda global de aquecimento residencial.¹²⁵

A transformação da ETE de Marselisborg em uma instalação de produção de energia apresentou uma forte justificativa econômica: o retorno do investimento foi de apenas 4,8 anos.¹²⁶ Se replicada globalmente, essa abordagem poderia ter um impacto transformador. Equipar estações de tratamento de águas residuais existentes e futuras com tecnologias avançadas de otimização de energia poderia economizar até 300 milhões de toneladas de emissões de CO₂ e anualmente até 2030¹²⁷ — aproximadamente 10% do total de emissões de CO₂ e da UE em 2023.¹²⁸ Além disso, também economizaria cerca de 350 TWh de energia por ano,¹²⁹ eo equivalente a cerca de um décimo do fornecimento de energia da Alemanha.¹³⁰ Do ponto de vista financeiro, o emprego de processos e tecnologias de otimização de energia no setor global de tratamento de águas residuais poderia proporcionar uma economia de custos de até 200 bilhões de euros por ano.¹³¹

A ETE de Marselisborg demonstra o que é possível quando tecnologias digitais e soluções de eficiência energética são integradas à infraestrutura crítica. Ela mostra que o tratamento de águas residuais pode deixar de ser um fardo energético e se tornar um ativo resiliente e economicamente viável.

Estudo de caso

Transformando águas residuais em um recurso em Chennai, Índia

Diante do crescente estresse hídrico, cidades como Chennai, na Índia, estão sob pressão para melhorar tanto a segurança hídrica quanto o desempenho energético em infraestruturas essenciais. Na Estação de Tratamento de Esgoto de Koyambedu, uma das maiores do gênero na Índia, esse desafio está sendo enfrentado de frente.

A estação trata até 120 milhões de litros de esgoto por dia, ajudando a salvaguardar a saúde pública e a proteger os corpos d'água locais.¹³² No entanto, como muitas instalações de tratamento, ela enfrentava alto consumo de eletricidade, especialmente devido aos sopradores e bombas de alta potência necessários para o processo de tratamento biológico.

Para solucionar isso, a fábrica instalou 55 inversores de frequência (VFDs) em suas operações. Esses inversores permitem o ajuste contínuo da velocidade dos motores, alinhando o consumo de energia à demanda real. Ao evitar o uso excessivo e garantir um controle de processo eficiente, a solução reduziu o desperdício de energia e aumentou a confiabilidade das operações.

O resultado: economia de energia de 22% nos sistemas de refrigeração e controle de motores da fábrica, redução de mais de US\$ 700.000 nos custos operacionais ao longo de 15 anos e uma pegada de carbono menor — tudo isso mantendo o desempenho necessário para atender a uma população crescente.¹³³

Reúso de água industrial

Em diversos setores, desde alimentos e bebidas até produtos farmacêuticos e centros de dados, a água continua fluindo em uma única direção: para dentro, através e para fora. A água doce é retirada, usada uma única vez e, em seguida, descartada, muitas vezes contendo poluentes. Isso é particularmente impactante quando consideramos que a indústria é o maior setor consumidor de água em certas regiões do mundo, como muitos países europeus, onde o setor responde por mais de 50% da captação anual de água.¹³⁴

A economia potencial ao reduzir e reutilizar a água é enorme. Se os métodos de redução e reutilização fossem adotados em todos os processos relevantes nas indústrias leves, o consumo de água poderia ser reduzido em 50 a 75%. Isso equivale ao consumo anual de água de 67 milhões de residências na UE.¹³⁵ Esses esforços não apenas conservam água, mas também reduzem a energia

necessária para bombear, aquecer e tratar a água gera economia de custos e redução de emissões. Em resumo, usar menos água também significa gastar menos dinheiro.

Métodos de redução e reutilização

A otimização do uso de água na indústria exige um foco duplo: reduzir o consumo de água e reutilizá-la sempre que possível. A redução do uso de água na indústria começa com a melhoria da visibilidade. Ao monitorar os fluxos de água mais de perto, as empresas podem identificar desperdícios e descobrir oportunidades de eficiência. Às vezes, as melhorias vêm de ajustes operacionais, reduzindo o uso desnecessário de água por meio do aprimoramento de processos internos. Em outros casos, melhorias técnicas, como a instalação de medidores de vazão, detecção automática de vazamentos ou sistemas de sensores em tempo real, permitem que a água seja usada com mais precisão. Essas ferramentas ajudam os operadores a monitorar o consumo de água de perto,

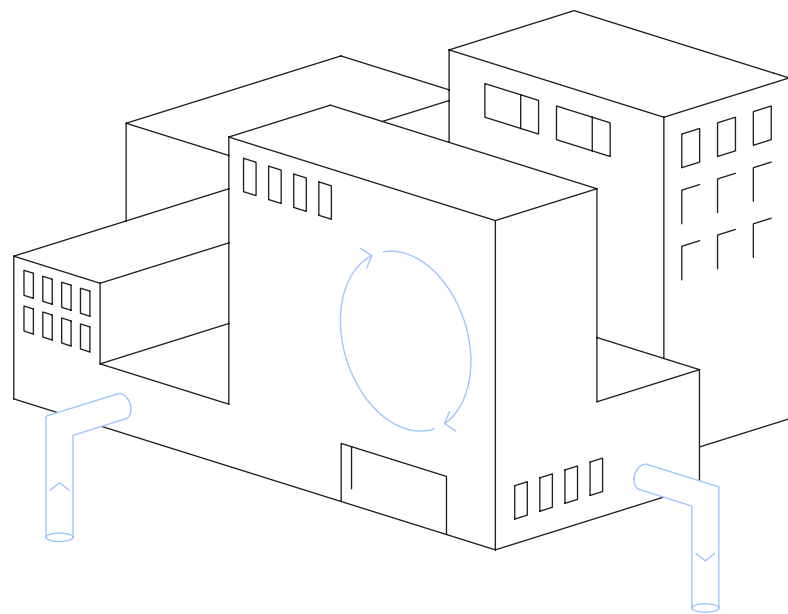
Se os métodos de "reduzir e reutilizar" fossem adotados em todos os processos relevantes nas indústrias leves, o consumo de água poderia ser reduzido em 50 a 75%.

detectar ineficiências e fazer ajustes em tempo real, reduzindo o desperdício sem comprometer o desempenho. Somente por meio de iniciativas de redução, **é possível alcançar uma economia de água de até 20-30% nos processos industriais.**¹³⁶

Reutilização refere-se à prática de capturar água que já foi utilizada em processos industriais e tratá-la para que possa ser usada novamente — geralmente para uma aplicação diferente e menos sensível. Em vez de permitir que a água saia da instalação após um único ciclo, as empresas estão instalando sistemas que recirculam a água por meio de múltiplos estágios de produção, principalmente para operações como enxágue, resfriamento ou limpeza, onde os requisitos de qualidade são moderados. Isso reduz significativamente tanto a captação de água doce quanto o volume de descarte, sem comprometer o desempenho.

Os resultados já são tangíveis. Ao aplicar tecnologias como filtração por membrana (como a osmose reversa) e destilação, a marca global de cosméticos L’Oréal reduziu o consumo de água em seus processos de produção em 54%, diminuindo o uso de 0,72 para 0,33 litros por produto acabado entre 2005 e 2022.¹³⁷ Bombas de alta pressão garantem o desempenho eficiente da membrana, enquanto ferramentas e sensores digitais fornecem informações em tempo real sobre fluxo, qualidade e estabilidade do sistema.

Em muitos casos, a água reutilizada não precisa atender aos padrões de água potável — basta que seja adequada para o uso pretendido. Isso torna a reutilização industrial não apenas mais sustentável, mas também, muitas vezes, mais econômica do que a obtenção de água nova. À medida que as pressões sobre os sistemas hídricos aumentam, a integração da reutilização às operações industriais essenciais emerge como uma estratégia crucial tanto para a resiliência quanto para a competitividade.



Estudo de caso

Reutilização em larga escala de água industrial na produção de semicondutores na Alemanha

A Semikron Danfoss fabrica componentes eletrônicos de potência para veículos elétricos, componentes de energia renovável e outras aplicações avançadas. Como muitas fábricas de semicondutores, a unidade depende de grandes volumes de água ultrapura para etapas críticas, como limpeza, corte e enxágue durante a produção, que geram efluentes. Para garantir o uso eficiente da água, a reutilização tornou-se parte essencial de sua estratégia de recursos.

Para reduzir o consumo de água doce e melhorar a resiliência operacional, a unidade implementou um sistema de reutilização de água com múltiplos fluxos, que cobre mais de 50% de sua demanda total de água. A água de várias etapas do processo é coletada e tratada por meio de filtração, ultrafiltração e osmose reversa, seguindo, em seguida, uma série de caminhos de reutilização direcionados, dependendo da qualidade e da finalidade. O filtrado dos processos de corte e retificação é reutilizado como água de enxágue ou de corte, e parte dele também é usada como água de processo. A água de enxágue recuperada é reutilizada nos sistemas prediais, enquanto

o concentrado é usado no sistema de limpeza de exaustão. Além disso, o concentrado da osmose reversa é reaproveitado para descargas de vasos sanitários e paisagismo externo.

Bombas de alta pressão são utilizadas no processo de osmose reversa para auxiliar na recuperação da água para reutilização ou purificação adicional, transformando-a em água ultrapura. Nos casos em que a água não pode ser usada diretamente, ela é direcionada para o sistema de produção de água ultrapura da instalação, maximizando ainda mais a eficiência do local.

A abordagem da Semikron Danfoss demonstra que mesmo ambientes industriais altamente exigentes podem alcançar reduções substanciais no consumo de água doce sem comprometer o desempenho. **Somente em 2023, foram fornecidos mais de 120.000 metros cúbicos de água reutilizada. Isso equivale a aproximadamente 54% da demanda total**, o que contribuiu para a redução de custos, a diminuição do impacto ambiental e a garantia da segurança hídrica a longo prazo.

Superando as barreiras do tratamento e da reutilização

As estações de tratamento de águas residuais são um elemento crucial para o restabelecimento do ciclo da água, dando nova vida à água “antiga”. No entanto, seu alto consumo de energia significa que devemos maximizar a eficiência sempre que possível. Significa também que devemos reutilizar o máximo possível, principalmente na indústria.

1 Altos custos de CAPEX e OPEX dificultam o investimento em tecnologias avançadas de tratamento

Tecnologias avançadas de tratamento e reúso, como osmose reversa, desinfecção por UV e biorreatores de membrana, podem proporcionar economias significativas de água e energia, mas seus altos custos de investimento inicial e demandas energéticas limitam sua adoção. **Para resolver isso**, os formuladores de políticas devem incentivar as indústrias a priorizar o tratamento adequado à finalidade — ou seja, a purificação das águas residuais apenas até o nível de qualidade exigido para seu próximo uso. Por exemplo, a água utilizada para resfriamento de equipamentos ou enxágue de superfícies pode ser reutilizada após um tratamento mínimo, evitando os altos custos de adequação aos padrões de água potável.

2 A incerteza regulatória e institucional dificulta a adoção

Em muitos países, a falta de regulamentações claras e consistentes, padrões de qualidade da água e processos de licenciamento dificulta que indústrias e municípios invistam com segurança em sistemas de reúso de água. **Para solucionar isso**, os fornecedores de tecnologia devem se engajar com os formuladores de políticas para desenvolver em conjunto padrões de reúso de água. A adoção voluntária de padrões pode gerar impulso e demonstrar a viabilidade — como visto com a adoção da ISO 46001 para eficiência hídrica. Paralelamente, o fornecimento de treinamento e recursos para os órgãos reguladores pode ajudar a estabelecer regras mais claras e favoráveis ao reúso de água.

3 Sistemas de tratamento de águas residuais obsoletos limitam a viabilidade técnica

As águas residuais industriais frequentemente contêm substâncias difíceis ou caras de tratar com tecnologias padrão, o que desestimula a reutilização. Para solucionar isso, governos e indústria devem investir em parcerias de pesquisa e inovação com o objetivo de desenvolver soluções de tratamento para tipos complexos de águas residuais. Por exemplo, o uso de sistemas de tratamento modulares ou descentralizados pode facilitar e tornar mais acessível o tratamento em locais menores ou de difícil acesso. Além disso, o monitoramento em tempo real ajuda a acompanhar a qualidade da água à medida que entra no sistema, permitindo que o tratamento seja ajustado conforme necessário — melhorando a eficiência e reduzindo os riscos.

4 As estações de tratamento de águas residuais desperdiçam quantidades significativas de energia na forma de calor

As águas residuais não são apenas um resíduo — elas contêm quantidades significativas de energia incorporada, principalmente na forma de calor. Esse calor é um recurso limpo e acessível, que hoje está sendo simplesmente desperdiçado. **Para solucionar isso**, as tecnologias existentes podem ser aproveitadas para capturar esse calor residual e reaproveitá-lo para atender à demanda de calor em outros locais, como por meio de redes de aquecimento urbano, consumidores industriais próximos ou até mesmo para aquecimento de ambientes e água no local. Isso pode contribuir para a neutralidade energética do setor.

A busca por maior eficiência na relação entre água e energia envolve a ação de todos os atores, desde fornecedores de tecnologia até tomadores de decisão, e requer medidas políticas ousadas para transformar a ambição em realidade.

Recomendações de Políticas

Até 2030, a demanda global por água ultrapassará a oferta em 40%,¹³⁸ enquanto o consumo de energia do setor hídrico deverá mais que dobrar.¹³⁹ Além disso, em muitos países, mais de 30% da água tratada não chega ao consumidor final.¹⁴⁰ Isso não é apenas um risco climático — é um desafio para a competitividade e a segurança. Para que os formuladores de políticas públicas atendam à necessidade de economizar mais água, é necessária uma abordagem integrada para onexo água-energia em todos os níveis de governo. Enfrentar o nexo água-energia significa agir em quatro frentes: reduzir o desperdício, aumentar a eficiência, digitalizar e valorizar a água.



Minimizar a perda de água

- Estabelecer metas nacionais ambiciosas para reduzir a captação, o vazamento e o consumo de água.
- Investir em tecnologias comprovadas para detecção de vazamentos, gerenciamento de pressão e medição inteligente para reduzir a água não faturada.
- Reconhecer que a perda de água também representa perda de energia e receita — as melhorias na infraestrutura devem ser guiadas pelo custo total de propriedade, e não apenas pelo preço inicial.



Incorporar a eficiência energética nas políticas hídricas

- Implementar requisitos de coleta de dados e plataformas de compartilhamento para demonstrar o valor real da água.
- Exigir Padrões Mínimos de Desempenho (MPS) para estações de tratamento de águas residuais, instalações de dessalinização e data centers.
- Considerar a integração da eficiência hídrica em auditorias energéticas, levando em conta os impactos nos recursos locais.
- Estabelecer diretrizes e compartilhar as melhores práticas para a reutilização industrial da água, além de definir uma meta nacional para a reutilização industrial da água.



Incentivar a digitalização

- Financiar soluções digitais que possam transmitir dados em tempo real sobre preços de energia, custos de distribuição e tarifas. A transparência nos preços da água e a correlação entre preço e desperdício de água e energia são essenciais para que os tomadores de decisão tomem decisões informadas para melhorar a eficiência.
- Estabelecer metas para a coleta de dados. As ferramentas digitais para aumentar a eficiência da gestão da água existem, mas não são amplamente adotadas.



Valorize a água

- Incentivar soluções de abastecimento descentralizadas e flexíveis para fortalecer a resiliência contra secas, choques climáticos e riscos geopolíticos.
- Apoiar a reutilização da água, o tratamento adequado à finalidade e a dessalinização com requisitos claros de eficiência.
- Adequar a qualidade da água ao uso final: água de alta pureza para consumo humano e água de menor pureza para irrigação ou resfriamento.

Referências

^[1] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[2] OMS & UNICEF (2023). Avanços em água potável, saneamento e higiene doméstica 2000-2022: foco especial em gênero.

^[3] IEA (2018). Perspectiva Energética Mundial. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[4] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[5] Em 2024, o PIB dos EUA era de USD 28,83 trilhões. 8% desse PIB corresponde a USD 2,31 trilhões. Os gastos do governo dos EUA em 2024 foram de USD 6,75 trilhões (Dados Fiscais (2025). Quanto o governo dos EUA gastou este ano? Acessado em 14 de agosto de 2025.). Assim, 8% do PIB equivalia a um terço dos gastos do governo em 2024.

^[6] IEA (2018). A energia tem um papel a desempenhar na conquista do acesso universal à água potável e ao saneamento. Publicado em 22 de março de 2018. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[7] IEA (2025). Energia & IA. Publicado em abril de 2025. Acessado em 29 de julho de 2025.

^[8] A coleta total de água doce por ano na UE27 foi de 197.000 milhões de m³ em 2022 (Fonte: EEA (2024). Extração de água por fonte e setor econômico na Europa.

Acessado em 14 de agosto de 2025.) O consumo projetado de 1.200 bilhões de litros de água proveniente dos data centers até 2030 é seis vezes o total de captação de água doce na UE27.

^[9] Alissa, H., Nick, T., Raniwala, A. et al (2024). Utilizando a avaliação do ciclo de vida para impulsionar a inovação em nuvens frias sustentáveis. Nature, 641: 331– 338. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08832-3.

^[10] Fórum Econômico Mundial (2024). Como o estresse hídrico está colocando em risco a cadeia de suprimentos de semicondutores. Publicado em 2 de dezembro de 2024. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[11] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[12] Em 2024, o PIB dos EUA era de USD 28,83 trilhões. 8% disso corresponde a USD 2,31 trilhões. Os gastos do governo dos EUA em 2024 foram de USD 6,75 trilhões (Dados Fiscais (2025). Quanto o governo dos EUA gastou este ano? Acessado em 14 de agosto de 2025.). Assim, 8% do PIB equivalia a um terço dos gastos do governo em 2024.

^[13] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[14] ASCE (2020). Os benefícios econômicos de investir em infraestrutura hídrica: como uma falha em agir afetaria a recuperação econômica dos EUA. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[15] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[16] Danfoss (2021). Quanta energia e CO₂ podem ser economizados ao adaptar as usinas de dessalinização existentes? Publicado em 15 de julho de 2021. Acessado em 3 de fevereiro de 2024.

^[17] USBR (2020). Fatos sobre a Água - Abastecimento Mundial de Água | ARWEC| CCAO | Escritórios de Área | Califórnia-Grande Bacia | Departamento de Reclamação. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[18] UN (2023). Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água 2023: parcerias e cooperação para a água - Biblioteca Digital da UNESCO. Acessado em junho de 2025.

^[19] da ONU (2023). Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água 2023: parcerias e cooperação para a água - Biblioteca Digital da UNESCO. Acessado em 20 de junho de 2025.

^[20] EarthHow (s.d.). Quanta água tem na Terra? Acessado em 25 de agosto de 2025.

^[21] ASCE (2020). Os benefícios econômicos de investir em infraestrutura hídrica: como uma falha em agir afetaria a recuperação econômica dos EUA. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[22] OCDE (2020). Financiamento do Abastecimento de Água, Saneamento e Proteção contra Enchentes: Desafios nos Estados-Membros da UE e Opções de Política. Estudos da OCDE sobre Água. https://doi. org/10.1787/6893cdac-en.

^[23] IEA (2018). Perspectiva Energética Mundial. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[24] IEA (2020). Introdução ao nexo água-energia. Acessado 15 de agosto de 2025.

^[25] IEA (2020). Introdução ao nexo água-energia. Acessado 15 de agosto de 2025.

^[26] ONU (2024). Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água 2024: água para prosperidade e paz - Biblioteca Digital da UNESCO. Acessado em 26 de maio de 2025.

^[27] IEA (2018). A energia tem um papel a desempenhar na conquista do acesso universal à água potável e ao saneamento. Publicado em 22 de março de 2018. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[28] IEA (2023). Consumo global de água no setor de energia por tipo de combustível e geração de energia no Cenário de Políticas Declaradas, 2021 e 2030. Última atualização em 22 de março de 2023. Acessado em 25 de agosto de 2025.

^[29] Adamovic et al., (2019). Nexus Água-Energia na Europa, p. 5. Repositório de Publicações do JRC. https://dx.doi. org/10.2760/968197.

^[30] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[31] Em 2024, o PIB dos EUA era de USD 28,83 trilhões. 8% disso corresponde a USD 2,31 trilhões. Os gastos do governo dos EUA em 2024 foram de USD 6,75 trilhões (Dados Fiscais (2025). Quanto os EUA

O governo gastou este ano? Acessado em 14 de agosto de 2025.). Assim, 8% do PIB equivalia a um terço dos gastos do governo em 2024.

^[32] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[33] UN Water (2014). O Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água das Nações Unidas 2014. Água e Energia. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[34] ONU (2024). Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água 2024: água para prosperidade e paz - Biblioteca Digital da UNESCO. Acessado em 26 de maio de 2025.

^[35] FAO (s.d.). AQUASTAT. Acessado em 1º de julho de 2025.

^[36] Nosso Mundo em Dados (2015). Uso de água e estresse. Atualizado em fevereiro de 2024. Acessado em 1º de julho de 2025.

^[37] Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024.

^[38] OMM (2021). Estado dos Serviços Climáticos 2021 — Água. Acessado 15 de agosto de 2025.

^[39] UNEP GEMS/Water (2024). Progresso na Qualidade da Água Ambiente - Status de médio prazo do Indicador de ODS 6.3.2 e necessidades de aceleração, com foco especial em Saúde. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[40] Irrigation emite 216 milhões de toneladas de CO2 e consome 1896 PJ (527 TWh) de energia anualmente. Isso representa 15% das emissões de GEE e do consumo de energia em operações agrícolas. O bombeamento de água subterrânea representa 89% do consumo total de energia na irrigação. Aplicar esses 89% às emissões de GEE e ao consumo de energia leva à conclusão de que o bombeamento de água subterrânea para irrigação emite 192 milhões de toneladas de CO

2, consome 469 TWh e responde por 13% das emissões de GEE e do consumo de energia em operações agrícolas. Derivado de: Qin, J. et al. (2024). Uso global de energia e emissões de carbono provenientes da agricultura irrigada. Comunicação com a Natureza. Volume 15. Número do artigo: 3084. https:// doi.org/10.1038/s41467-024-47383-5.

^[41] IEA (2025). Ganhando uma Vantagem: O Papel da Eficiência Energética na Competitividade Industrial. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[42] Comissão Europeia (2018). Revisão da Bomba Ecodesign: Estudo do Regulamento da Comissão (UE) nº 547/2012 (Requisitos do Ecodesign para bombas de água) - Relatório ampliado (versão final). Dezembro de 2018. Preparado por Viegand Maagøe e Van Holsteijn en Kemna B.V. (VHK).

^[43] Danfoss (2016). A Affinity Water economiza £0,3 milhão usando os Danfoss Drives. Publicado em 12 de outubro de 2016. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[44] Como funciona a dessalinização — Sydney Desalination Plant Autor: Sydney Desalination Plant (2025)

^[45] Zolghadr-Asli, B. et al. (2023). Uma análise mais detalhada da história da indústria de dessalinização: a evolução da prática da dessalinização ao longo do tempo. Water Supply, 23(6): 2517. https://doi.org/10.2166/ws.2023.135.

^[46] IEA (2024). A energia é vital para um setor de água bem funcionando. Publicado em 22 de março de 2024. Acessado em 18 de agosto de 2025.

^[47] IEA (2024). A energia é vital para um setor de água bem funcionando. Publicado em 22 de março de 2024. Acessado em 18 de agosto de 2025.

^[48] Danfoss (2021). Um breve histórico da intensidade energética da dessalinização. Atualizado em 7 de julho de 2021. Acessado em 29 de agosto de 2025.

^[49] A demanda global de energia por dessalinização é de 2.024 PJ em 2023 e projetada para 3.883 PJ em 2030. Isso equivale a 562 TWh e 1.079 TWh, respectivamente. Fonte: IEA (2024). Demanda de energia para dessalinização no Cenário de Políticas Declaradas, 1990-2030. Atualizado em 22 de março de 2024. Acessado em 30 de junho de 2025.

^[50] IEA (2024). Demanda de energia para dessalinização no Cenário de Políticas Declaradas, 1990-2030. Atualizado em 22 de março de 2024. Acessado em 30 de junho de 2025.

^[51] Zolghadr-Asli, B. et. al (2023). Uma revisão das limitações e potenciais da dessalinização como fonte sustentável de água - PMC. Ciência Ambiental e Pesquisa em Poluição. 30(56): 118161– 118174. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30662-x.

^[52] Parag et al (2023). Água Engarrafada: Uma Visão Geral Baseada em Evidências sobre Viabilidade Econômica, Impacto Ambiental e Equidade Social. Sustentabilidade 2023, 15: 9760. https://doi.org/10.3390/ su15129760.

^[53] Transportar um litro de água engarrafada consome de 1,4 a 5,8 MJ/L (Parag et al, 2023) ou 389 a 1.611 kWh/ m 3 . As instalações existentes do SWRO podem ser adaptadas para um consumo energético específico de 2 kWh/ m3 e as usinas de última geração consomem apenas 1,86 kWh/ m3 .

^[54] Inteligência Global da Água / DesalData. Não são dados disponíveis publicamente. Danfoss é membro da GWI e, portanto, ampliou o acesso aos insights do setor.

^[55] Global Water Intelligence / DesalData (2025). Arquivo: DesalData-2025-08-13. O conjunto de dados cobre 4.646 plantas conhecidas em operação. 968 usinas (21%) que entraram em operação antes de 2000 estão operando sem ERD (contando plantas onde "tipo ERD" e "fornecedor ERD" são blanks).

^[56] Danfoss (2021). Compreender os fatores de custo do SWRO. Acessado em 13 de junho de 2025.

^[57] Comissão Europeia (2025). Plano de Ação para Energia Acessível. Acessado em 13 de maio de 2025.

^[58] IEA (2018). Perspectiva Energética Mundial. Acessado em 15 de agosto de 2025.

^[59] Instituto Tecnológico de Canarias (2024). As Ilhas Canárias concluem com sucesso o inovador projeto de dessalinização DESALRO 2.0. Publicado em 15 de maio de 2024. Acessado em 3 de fevereiro de 2025.

^[60] Danfoss (2021). Quanta energia e CO₂ podem ser economizados

Referências

- ↑ ao adaptar as usinas de dessalinização existentes? Publicado em 15 de julho de 2021. Acessado em 3 de fevereiro de 2024.
- ↑ Em 2023, a aviação internacional emitiu 544,91 milhões de toneladas de CO (IEA (s.d.) Aviação. Acessado em 8 de julho de 2025). Adaptando o ² a frota global de SWRO pode economizar 111 milhões de toneladas de emissões de CO, ² equivalente a 20,4% das emissões da aviação internacional.
- ↑ EMODnet (2021). EMODnet_HA_Desalination_Plants_20210830. Acessado em 23 de junho de 2025. Os dados são filtrados por: TECNOLOGIA = "RO (Osmose Reversa)"; ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO = "Água do Mar (TDS 20000ppm - 50000ppm)"; PLANT_ STATUS = "Online" e "Presumidamente Online".
- ↑ O consumo de eletricidade baseia-se na suposição de que as usinas SWRO estão produzindo a capacidade total e seguem as eficiências baseadas na idade mencionada em Kumar, M. et al. (2017). Dessalinização da Água: História, Avanços e Desafios. Academias Nacionais de Ciências, Engenharia e Medicina. Fronteiras da Engenharia: Relatórios sobre Engenharia de Ponta do Simpósio de 2016. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/23659.
- ↑ O preço da eletricidade na Espanha foi de EUR 0,1703/kWh incluindo impostos e taxas para consumidores não residenciais no segundo semestre de 2024 (Eurostat (2025). nrg_pc_205. Acessado em 18 de agosto de 2025.). A adaptação da capacidade de SWRO da Espanha pode economizar 966 GWh, resultando em uma economia de EUR 165.537.737 em custos de eletricidade.
- ↑ *De acordo com a Agência Europeia do Meio Ambiente, o fator de emissão da geração de eletricidade espanhola é de 158 g de CO* ² e/kWh (Agência Europeia do Meio Ambiente (2024). Intensidade das emissões de gases de efeito estufa na geração de eletricidade, nível nacional. Acessado em 23 de junho de 2025). A adaptação da capacidade SWRO da Espanha pode economizar 966 GWh, resultando em 152.654 toneladas de CO ² reduções de e.
- ↑ Aurora (2025). A Espanha dobra sua capacidade renovável em meio às limitações da rede. Publicado em 4 de março de 2025. Acessado em 18 de agosto de 2025.
- ↑ Segundo a ACER, o custo da nova rede será de EUR 16/MWh até 2030 (ACER (2024). Desenvolvimento de infraestrutura elétrica para apoiar um sistema energético competitivo e sustentável
- ↑ Relatório de Monitoramento 2024. Acessado em 18 de agosto de 2025). A adaptação da capacidade SWRO da Espanha pode economizar 966 GWh, resultando em uma economia de EUR 15.458.625 na construção da nova rede.
- ↑ Wikipedia (s.d.). Lista de Estados membros da União Europeia por população. Última edição em 12 de julho de 2025. Acessado em 18 de agosto de 2025.
- ↑ De acordo com o EMODnet (2021), as instalações de dessalinização em Chipre podem produzir 117.698.891 m3 de água anualmente. Assumindo que as plantas SWRO produzem em plena capacidade e sigam as eficiências baseadas na idade declarada em Kumar et al. (2017), essa produção é de 343 GWh/ano.

⁷⁰ Em 2023, Chipre produziu 5.329 GWh de eletricidade (IEA (s.d.). Chipre. Acessado em 18 de agosto de 2025). Se as instalações da SWRO em Chipre produzirem em plena capacidade, consumirão 343 GWh/ano, equivalente a 6,44% da produção.

⁷¹ Em 2023, Chipre produziu 5.329 GWh de eletricidade (IEA (s.d.). Chipre. Acessado em 18 de agosto de 2025). Se as instalações da SWRO em Chipre forem adaptadas para um consumo energético específico de 2 kWh/ m ³ , elas podem economizar 107 GWh/ano, equivalente a 2,01% da produção.

⁷² IEA (s.d.). Chipre. Acessado em 18 de agosto de 2025.

⁷³ Omerspahic et al. (2022). Características da Salmoura de Dessalinização e seus Impactos na Química e Saúde Marinha, com ênfase no Golfo Pérsico/Arábico: uma revisão. Fronteiras em Ciências Marinhas. Sec. Poluição Marinha. Volume 9. https://doi. org/10.3389/fmars.2022.845113.

⁷⁴ Lee, J. & Lee, S. (2025). Desafios, oportunidades e avanços tecnológicos na mineração de salmoura por dessalinização: uma pequena revisão. Avanços em Química Industrial e de Engenharia. 1(7). https://doi.org/10.1007/s44405-025-00007-y.

⁷⁵ Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental (s.d.). Prevenindo a perda de água. Acessado em 4 de agosto de 2025.

⁷⁶ Liemberger, A. & Wyatt (2018). Quantificando o problema global da água sem receita financeira. Abastecimento de água. Volume 19 (3): 831– 837. https://doi.org/10.2166/ws.2018.129.

⁷⁷ Liemberger, A. & Wyatt (2018). Quantificando o problema global da água sem receita financeira. Abastecimento de água. Volume 19 (3): 831– 837. https://doi.org/10.2166/ws.2018.129.

⁷⁸ AbuEltayef, H.T., et al. (2023). Enfrentando a água não comercial como um problema global e suas interconexões com os objetivos de desenvolvimento sustentável. Prática e Tecnologia da Água. 18(12): 3175– 3202. https://doi.org/10.2166/wpt.2023.157.

⁷⁹ Cassidy, J. et al. (2021). Levando a eficiência da água ao próximo nível: ferramentas digitais para reduzir a água não lucrativa. Journal of Hydroinformatics. 23(3): 453– 465. https://doi.org/10.2166/ Hydro.2020.072.

⁸⁰ UNESCO & IWSSM (2019). Segurança Hídrica e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Série I). Em: Série Questões Globais de Segurança Hídrica (GWSI). Acessado em 18 de agosto de 2025.

⁸¹ Cassidy, J. et al. (2021). Levando a eficiência da água ao próximo nível: ferramentas digitais para reduzir a água não lucrativa. Journal of Hydroinformatics. 23(3): 453– 465. https://doi.org/10.2166/ Hydro.2020.072.

⁸² Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental (s.d.). Prevenindo a perda de água. Acessado em 4 de agosto de 2025.

⁸³ Adediji, K.B. et al. (2018). Estratégias de Gerenciamento de Pressão para Redução de Perdas de Água em Redes de Tubulação de Água em Larga Escala:

Uma Resenha. Em: Gourbesville, P., Cunge, J., Caignaert, G. (eds) Avanços na Hidroinformática. Água de Springer. Springer,

Singapura. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7218-5_33.

⁸⁴ Thornton, J. & Lambert, A.O. (2007). A gestão da pressão prolonga a vida útil da infraestrutura e reduz custos desnecessários de energia. Conferência IWA: Perda de água. Acessado

20 de agosto de 2025 até https://www.waternz.org.nz/ Anexo? Ação=Download&Attachment_id=3680.

⁸⁵ Ociepa, E. et al. (2019). Análise das perdas de água e avaliação de iniciativas voltadas para sua redução em sistemas selecionados de abastecimento de água. Água. 11(5): 1037. https://doi. org/10.3390/w11051037.

⁸⁶ Monsef, H. et al. (2018). Gerenciamento de pressão em sistemas de distribuição de água para reduzir o consumo de energia e o vazamento de fundo. Journal of Water Supply: Pesquisa e Tecnologia - Aqua. 67(4): 397– 403. https://doi. org/10.2166/aqua.2018.002.

⁸⁷ Liemberger, A. & Wyatt (2018). Quantificando o problema global da água sem receita financeira. Abastecimento de água. Volume 19 (3): 831– 837. https://doi.org/10.2166/ws.2018.129.

⁸⁸ FAO (s.d.). AQUASTAT. Acessado em 1º de julho de 2025.

⁸⁹ WWF (s.d.). Escassez de água. Acessado em 2 de julho de 2025.

⁹⁰ Mehta, P. et al. (2024). Metade da expansão global da irrigação do século XXI ocorreu em regiões com estresse hídrico. Água da Natureza. 2: 254– 261. https://doi.org/10.1038/s44221-024-00206-9.

⁹¹ Davis, K.F. et al. (2017). Limites de água para fechar lacunas de rendimento. Avanços nos Recursos Hídricos. 99: 67-75. https://doi. org/10.1016/j.adwatres.2016.11.015.

⁹² Jägermeyr, J. et al. (2015). Potenciais de economia de água dos sistemas de irrigação: simulação global de processos e ligações. Hidrologia e Ciências do Sistema Terrestre. 19(7): 3073– 3091.

https://doi.org/10.5194/hess-19-3073-2015.

⁹³ Azari, M. D. et al. (2021). Projeto hidráulico e operação de bombas de velocidade variável como estratégias de economia de água e energia em sistemas de irrigação pressurizada. Tecnologias Limpas e Política Ambiental. 23: 1493– 1508. https://doi.org/10.1007/ s10098-021-02043-W.

⁹⁴ Salmasi, F. et al. (2022). Avaliação de bombas de velocidade variável em sistemas de distribuição de água pressurizada. Ciência Aplicada da Água. 12: Artigo número 51. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01577

⁹⁵ Qin, J. et al. (2024). Uso global de energia e emissões de carbono provenientes da agricultura irrigada. Comunicação com a Natureza. 15: Número do artigo: 3084. https://doi.org/10.1038/s41467-024-47383-5.

⁹⁶ FAO (s.d.). AQUASTAT. Acessado em 1º de julho de 2025.

⁹⁷ Burek et al. (2016). Iniciativa de Fast Track de Futuros e Soluções da Água. Documento de Trabalho WP-16-006 do Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados. Publicado em maio de 2016. Acessado em 25 de agosto de 2025.

⁹⁸ Económico Mundial ⁹⁸ (2024). Como o estresse hídrico está colocando em risco a cadeia de suprimentos de semicondutores. Publicado em 2 de dezembro de 2024. Acessado em 15 de agosto de 2025.

⁹⁹ Económico Mundial ⁹⁹ (2021). Quais alimentos precisam de mais água para serem produzidos? Publicado em 7 de junho de 2021. Acessado em 14 de agosto de 2025.

¹⁰⁰ Goldammer, T. (2022). O Manual do Cervejeiro: O Livro Completo para Fabricar Cerveja. Terceira Edição. 101 Carlsberg Polônia (2023). Relatório ESG 2023. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹⁰² Goldammer, T. (2022). O Manual do Cervejeiro: O Livro Completo para Fabricar Cerveja. Terceira Edição. 103 IEA (2025). Energia & IA. Publicado em abril de 2025. Acessado em 11 de junho de 2025.

¹⁰⁴ A captação total de água doce por ano na UE27 foi de 197.000 milhões de m³ em 2022 (EEE (2024). Extração de água por fonte e setor econômico na Europa. Acessado em 14 de agosto de 2025.) O consumo projetado de 1.200 bilhões de litros de água proveniente dos data centers até 2030 é seis vezes o total de captação de água doce na UE27.

¹⁰⁵ Gnibga, W. E. et al. (2024). FlexCoolDC: Flexibilidade para resfriamento de datacenters para harmonizar trade-offs entre água, energia, carbono e custos. e-Energy '24: Anais da 15ª Conferência Internacional da ACM sobre Sistemas de Energia Futuros e Sustentáveis. Páginas 108-122. https://doi. org/10.1145/3632775.3661936. 106 Alissa, H., Nick, T., Raniwala, A. et al (2024). Utilizando a avaliação do ciclo de vida para impulsionar a inovação em nuvens frias sustentáveis. Nature, 641: 331– 338. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08832-3.

¹⁰⁷ IEA (2025). Energia & IA. Publicado em abril de 2025. Acessado em 11 de junho de 2025.

¹⁰⁸ IEA (2025). Energia & IA. Publicado em abril de 2025. Acessado em 11 de junho de 2025.

¹⁰⁹ Governo do Reino Unido (2023). Milhares de residências serão mantidas aquecidas pelo calor residual dos centros de dados de computadores no Reino Unido primeiro.

Publicado em 3 de novembro de 2023. Acessado em 5 de agosto de 2025. 110 IEA (2025). Energia & IA. Publicado em abril de 2025. Acessado em 11 de junho de 2025.

¹¹¹ IEA (2025). Energia & IA. Publicado em abril de 2025. Acessado em 11 de junho de 2025.

¹¹² Gesellschaft für Informatik (2025). Auswirkungen von ki, Rechenzentren und Halbleitern auf Wasserverfügbarkeit und -Qualität. Publicado em junho de 2025. Acessado em 4 de agosto de 2025. 113 IEA (2018). Perspectiva Energética Mundial. Acessado em 15 de agosto de 2025. 114 Copeland, C. & Carter, N. (2017). *Nexus Energia-Água: O Uso de Energia do Setor de Água, Serviço de Pesquisa do Congresso*.

Publicado em 24 de janeiro de 2017. Acessado em 25 de

agosto de 2025. 115 Maktabifard, M. et al (2018). Alcançar a neutralidade energética em estações de tratamento de esgoto por meio da economia de energia e do aumento da produção de energia renovável. Revisões em Ciências Ambientais e Bio/Tecnologia. 17: 655– 689.

<https://doi.org/10.1007/s11157-018-9478-x>.

¹¹⁶ DHI (2022). Análise da contribuição potencial para a neutralidade energética e climática da tecnologia dinamarquesa no setor global de esgoto. Publicado em 5 de setembro de 2022. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹¹⁷ Administração de Comércio Internacional, Departamento de Comércio dos EUA (2023). Guia Comercial do País da China – Tecnologia Ambiental. Última atualização em 7 de abril de 2023. Acessado em 10 de julho de 2025.

¹¹⁸ Em 2019, a população chinesa era de 1.410.080.000 pessoas (Statista (2025). População total da China de 1980 a 2024, com previsões até 2030. Acessado em 11 de agosto de 2025) e a taxa de urbanização foi de 62,7% (Associação Urbana da Água da China (2024). Relatório Anual das Utilidades Urbanas de Água da China). Esta é uma população urbana de 884.261.168 pessoas. Até 2035, espera-se que a população chinesa diminua para 1.360.682.112 (Banco Mundial (s.d.): China Population Projection 15-50). Última atualização em 7 de fevereiro de 2025. Acessado em 11 de agosto de 2025), e a taxa esperada de urbanização é de 73,9% (Nações Unidas, Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, Divisão de População (2019). Perspectivas de Urbanização Mundial: A Revisão de 2018. Acessado em 19 de agosto de 2025). Esta é uma população urbana de 1.005.544.081, ou um aumento de 13,7% desde 2019. A capacidade per capita do WWT aumentou de 254,41 L/pessoa por dia em 2019 para 290,45 L/pessoa por dia em 2023. Isso representa um aumento de 14,2%. Assumindo que a capacidade per capita de WWT de 2023 seja válida até 2035 (uma suposição conservadora, já que ela aumentou linearmente anualmente em 8,0527 L/pessoa por dia no período de 2014-2023 (R2=0,98)) e que o volume de águas residuais crescerá linearmente com a população urbana, o volume projetado de águas residuais crescerá 29,8%. Assumindo que a população urbana adotará melhores práticas hídricas até 2035, Danfoss estima de forma conservadora que o volume de esgoto crescerá 25% e atingirá 83,6 bcm até 2035.

¹¹⁹ IEA (2016). Water Energy Nexus - Trecho do World Energy Outlook 2016. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹²⁰ Volume de águas residuais e consumo de eletricidade foram previstos para 2035 com base em Wang D. et al (2022). O consumo anual de eletricidade de 2006-2019 para 'WWTP' e 'WWTP ou outras instalações' pode ser descrito linearmente com R2=0,97 e o esgoto anual pode ser descrito linearmente com R2=0,99. Nesse período, não houve diminuição no consumo de eletricidade por unidade de água tratada (0,324 TWh/bcm em 2006 e 0,332

TWh/bcm em 2019). Como descrito anteriormente, pode-se assumir de forma conservadora que o volume de águas residuais crescerá 25% até 2035. Isso significa que o volume de águas residuais aumentará de 67 bcm em 2019 para 84 bcm até 2035. A demanda de eletricidade para tratamento de águas residuais em 2035 foi prevista em dois cenários: 1) Business-as-usual, onde o aumento da demanda de eletricidade segue o aumento do volume de águas residuais, e 2) eficiência energética por meio de VSDs. Aqui, a adaptação do WWTP existente com VSDs é supostamente uma economia de 20% de energia, e os novos WWTP são 30% mais eficientes, com base nas estimativas da Danfoss. 121 Wang, D. et al. (2022). Emissões de gases de efeito estufa de estações municipais de tratamento de águas residuais na China de 2006 a 2019. 9: Artigo número 317. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01439-7>.

¹²² Wang, D. et al. (2022). Emissões de gases de efeito estufa das estações de tratamento de águas residuais na China de 2006 a 2019. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.19158206.v1>. 123 Danfoss (2022). Marselisborg: Um caminho para um setor neutro em energia. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹²⁴ Danfoss (2022). Marselisborg: Um caminho para um setor neutro em energia. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹²⁵ DHI (2022). Análise da contribuição potencial para a neutralidade energética e climática da tecnologia dinamarquesa no setor global de esgoto. Publicado em 5 de setembro de 2022. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹²⁶ Danfoss (2022). Marselisborg: Um caminho para um setor neutro em energia. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹²⁷ DHI (2022). Análise da contribuição potencial para a neutralidade energética e climática da tecnologia dinamarquesa no setor global de esgoto. Publicado em 5 de setembro de 2022. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹²⁸ Segundo o EEE, a União Europeia emitiu aproximadamente 2,9 Gt de CO₂ e em 2023. Economizar 300 milhões de toneladas de CO₂ e por ano (equivalente a 0,3 Gt) com a modernização das estações de tratamento de esgoto equivale a cerca de 10% das emissões totais da UE. Cálculo da porcentagem: (0,3Gt/2,9Gt) *100 = 10,3%. (EEA (2025). Gases do efeito estufa do EEE — visualizador de dados. Última modificação em 16 de maio de 2025. Acessado em 20 de agosto de 2025). 129 DHI (2022). Análise da contribuição potencial para a neutralidade energética e climática da tecnologia dinamarquesa no setor global de esgoto. Publicado em 5 de setembro de 2022. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹³⁰ IEA (2022). Europa. O suprimento total de energia da Alemanha em 2020 foi de 11.654.314 TJ, equivalente a 3.237 TWh. 350 TWh / 3237 TWh = 0,11, ou cerca de um décimo.

¹³¹ DHI (2022). Análise da contribuição potencial para a neutralidade energética e climática da tecnologia dinamarquesa dentro do

Setor global de esgoto. Publicado em 5 de setembro de 2022. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹³² O Novo Expresso Indiano (2013). Estação de esgoto de Koyambedu será preparada até março do próximo ano. Atualizado em 31 de janeiro de 2013. Acessado em 2 de julho de 2025 , 133 Danfoss (2023). Redução de 22% no consumo de energia em Koyambedu. Última atualização em 23 de janeiro de 2023. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹³⁴ Ritchie, H. & Roser, M. (2021). Uso da Água e Estresse - Nosso Mundo em Dados. Última atualização em fevereiro de 2024. Acessado em 25 de agosto de 2025.

¹³⁵ Grundfos (2024). Economia Industrial de Água: Um Potencial Não Explorado em Indústrias Leves. Acessado em 10 de junho de 2025. 136 Grundfos (2024). Economia Industrial de Água: Um Potencial Não Explorado em Indústrias Leves. Acessado em 10 de junho de 2025. 137 Grundfos (2024). Economia Industrial de Água: Um Potencial Não Explorado em Indústrias Leves. Acessado em 10 de junho de 2025. 138 Comissão Global sobre a Economia da Água (2024). A Economia da Água: Valorizando o Ciclo Hidrológico como um Bem Comum Global. Acessado em 20 de maio de 2024. 139 IEA (2018). A energia tem um papel a desempenhar na conquista do acesso universal à água potável e ao saneamento. Publicado em 22 de março de 2018. Acessado em 15 de agosto de 2025. 140 A Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental (s.d.). Prevenindo a perda de água. Acessado em 4 de agosto de 2025.



O que é o Danfoss Impact?

O Danfoss Impact foi criado para compartilhar nossa visão sobre o potencial da eficiência energética e da eletrificação para transformar nosso sistema energético. No diálogo sobre a transição verde, a eficiência energética é frequentemente negligenciada. Uma das principais razões para isso é que especialistas e líderes da indústria não explicaram adequadamente seu papel na aceleração da eletrificação para viabilizar um futuro movido a energias renováveis.

Com base em evidências de fontes confiáveis, o Danfoss Impact apresenta casos de diversos setores, destacando soluções com grande potencial para economizar energia e reduzir emissões de forma economicamente viável e escalável. Com esta série, também pretendemos demonstrar que as tecnologias necessárias para uma transição verde rápida e sustentável já existem hoje.

A energia mais verde é a energia que não usamos.