DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SALOBRAS E SALGADAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO: IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA MODULAR POR MEMBRANAS EM ILHABELA/SP

Talita Rubiete Pires Carvalho[1]
Engenheira Mecânica pela FEI e pós-graduanda em Gestão de Projetos. Diretora Comercial e líder do pilar de Inovação da Ecosan, possui mais de 10 anos de experiência no setor de saneamento, com atuação em soluções e projetos voltados ao tratamento de água e efluentes.
André Ricardo Telles[2]
CEO da Ecosan, empresa especializada em soluções para tratamento de água e recuperação de efluentes. Pós-Graduado em Inovação na Universidade CUOA, na Itália, e possui MBA pela FGV, com atuação em gestão, inovação e desenvolvimento de soluções aplicadas ao setor de saneamento.

Endereço[1]**:** R. das Monções, 420 - 9º andar - Jardim, Santo André - SP, 09090-521 - Brasil - Tel +55 (11) 3468-3800 – talita.carvalho@ecosan.com.

RESUMO

A crescente pressão sobre os recursos hídricos convencionais tem impulsionado a adoção de fontes alternativas para abastecimento público, especialmente em regiões costeiras sujeitas à sazonalidade populacional e limitações ambientais para ampliação de mananciais. Neste contexto, a Ecosan participa da implantação do Sistema de Dessalinização de Ilhabela/SP, concebido para produzir entre 20 e 30 L/s de água potável a partir de águas salobras e salgadas captadas no Ribeirão Água Branca. O sistema integra tecnologias de filtração automática, ultrafiltração por membranas, desinfecção ultravioleta, osmose reversa e pós-tratamento, formando um sistema modular capaz de operar sob ampla variação de salinidade da água bruta. O empreendimento foi dimensionado para operação contínua, com recuperação mínima de 50% de permeado e atendimento integral aos padrões de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888/2021. O principal desafio tecnológico consiste na elevada oscilação da salinidade do manancial em função do regime de marés, exigindo elevado grau de automação e proteção das membranas. A implantação representa uma das primeiras aplicações de dessalinização para abastecimento público municipal em larga escala na região Sudeste, constituindo referência para futuros projetos de diversificação de fontes hídricas em municípios costeiros brasileiros.

PALAVRAS-CHAVE: Dessalinização; Osmose Reversa; Segurança Hídrica.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água doce para abastecimento urbano tem se tornado um dos principais desafios para os sistemas de saneamento em diversas regiões do mundo. O crescimento populacional, as mudanças climáticas, a expansão urbana e as restrições ambientais associadas à captação de recursos hídricos convencionais têm impulsionado a busca por soluções alternativas capazes de garantir segurança hídrica e continuidade operacional dos sistemas de abastecimento (ANA, 2021).

Nesse contexto, a dessalinização por osmose reversa consolidou-se internacionalmente como uma tecnologia madura e amplamente empregada em países que enfrentam limitações de disponibilidade hídrica, como Israel, Espanha, Austrália e Arábia Saudita (ELIMELECH; PHILLIP, 2011; GHAFFOUR; MISSIMER; AMY, 2013). A evolução tecnológica das membranas, associada ao desenvolvimento de sistemas de recuperação energética e automação operacional, tem ampliado a viabilidade técnica da dessalinização para aplicações de abastecimento público, consolidando os processos por membranas como uma das principais estratégias para enfrentamento dos desafios globais relacionados à segurança hídrica (SHANNON et al., 2008; GREENLEE et al., 2009).

No município de Ilhabela, localizado no litoral norte do Estado de São Paulo, a limitação da disponibilidade hídrica superficial é agravada pela sazonalidade populacional decorrente da intensa atividade turística. Embora possua população residente próxima de 35 mil habitantes (IBGE, 2024), o município pode receber mais de 140 mil pessoas durante os períodos de alta temporada, provocando aumento expressivo da demanda por água tratada (SABESP, 2011).

Adicionalmente, aproximadamente 80% do território municipal encontra-se inserido em áreas ambientalmente protegidas, restringindo a implantação de novos sistemas convencionais de captação e produção de água. Estudos de concepção desenvolvidos pela Sabesp para ampliação da segurança hídrica de Ilhabela avaliaram diferentes alternativas de incremento da oferta de água, incluindo ampliação de captações superficiais, importação de água do continente por travessia submarina, novos reservatórios e sistemas de dessalinização. A análise técnica considerou critérios de disponibilidade hídrica, restrições ambientais, viabilidade de implantação, confiabilidade operacional e capacidade de atendimento à demanda futura, indicando a dessalinização do Ribeirão Água Branca como a alternativa mais adequada para as condições locais (SABESP, 2017).

Figura 1 – Representação 3D renderizada do sistema modular de dessalinização proposto para Ilhabela/SP



Fonte: elaboração própria.

Diante desse cenário, foi concebido o Sistema de Dessalinização do Ribeirão Água Branca, empreendimento que incorpora tecnologias avançadas de tratamento por membranas para produção de água potável destinada ao abastecimento público, ilustrada pela figura 1. A Ecosan participa da implantação dessa solução tecnológica, responsável pela integração dos processos de tratamento necessários para transformar uma fonte hídrica naturalmente sujeita à influência marinha em água própria para consumo humano.

OBJETIVOS

Apresentar a concepção, os critérios de dimensionamento e os principais aspectos tecnológicos do sistema modular de dessalinização por osmose reversa implantado para o município de Ilhabela/SP, destacando os desafios associados à elevada variabilidade da salinidade da água bruta e as soluções adotadas para garantir confiabilidade operacional e produção de água potável para abastecimento público.

METODOLOGIA UTILIZADA

A captação será realizada no Ribeirão Água Branca em trecho sujeito à influência das marés, condição que resulta em elevada variabilidade das características físico-químicas da água bruta. Monitoramentos realizados pela Sabesp registraram concentrações de salinidade variando desde aproximadamente 100 mg/L até valores próximos de 35.500 mg/L, equivalentes à salinidade típica da água do mar. Essa característica constitui um dos principais desafios de projeto, exigindo a adoção de múltiplas barreiras de tratamento capazes de garantir estabilidade operacional e proteção dos sistemas de membranas (GREENLEE et al., 2009).

Tabela 1 – Características operacionais da água bruta consideradas no dimensionamento do sistema

Parâmetro	Faixa observada
Salinidade	100 a 35.500 mg/L
Condição do manancial	Influência direta das marés
Tipo de água	Água doce, salobra e salgada
Variabilidade operacional	Elevada
Vazão de alimentação	até 40 L/s

Fonte: Adaptado de SABESP (2017).

Conforme apresentado na Tabela 1, o sistema deve operar sob condições de elevada variabilidade da qualidade da água bruta. A amplitude observada de salinidade caracteriza uma condição pouco usual em sistemas de abastecimento público, exigindo soluções robustas de pré-tratamento, automação e controle operacional. O dimensionamento da unidade foi desenvolvido para atendimento das demandas atuais e futuras do sistema de abastecimento de Ilhabela, considerando os cenários de crescimento populacional permanente e sazonal.

Estruturou-se o empreendimento em módulos independentes, permitindo ampliação progressiva da capacidade instalada conforme a evolução da demanda, sem necessidade de alterações estruturais significativas nas unidades já implantadas. O processo de tratamento foi baseado em etapas sequenciais de proteção e remoção de contaminantes. O arranjo geral das etapas de tratamento adotadas no sistema está apresentado na Figura 1.

Figura 2 – Fluxograma simplificado das etapas de tratamento do sistema modular de dessalinização proposto para Ilhabela/SP



Fonte: elaboração própria.

O arranjo tecnológico adotado teve sua base no princípio de múltiplas barreiras de tratamento, estratégia amplamente utilizada em sistemas de produção de água para consumo humano. A configuração selecionada buscou maximizar a confiabilidade operacional diante da elevada variabilidade da salinidade do manancial, combinando processos físicos de separação por membranas e sistemas automatizados de monitoramento e controle. A modularização do sistema permite expansão futura da capacidade produtiva sem alterações significativas na infraestrutura principal, além de simplificar atividades de manutenção e operação.

RESULTADOS DIMENSIONADOS

Com base nos critérios de projeto adotados e nas condições operacionais identificadas nos estudos de concepção, foi possível dimensionar um sistema capaz de tratar águas com ampla faixa de salinidade, desde condições próximas à água doce até concentrações equivalentes à água do mar.

O sistema foi projetado para operar continuamente durante 24 horas por dia, produzindo entre 20 e 30 L/s de água potável na primeira etapa de implantação, com possibilidade de expansão futura para até 60 L/s mediante incorporação de módulos adicionais de tratamento.

Considerando um consumo médio de 150 L/hab.dia, a capacidade inicialmente instalada apresenta potencial para atender aproximadamente entre 9.600 e 14.400 habitantes, contribuindo para o reforço da segurança hídrica do município durante períodos de elevada demanda sazonal.

A configuração de tratamento selecionada permite combinar remoção de sólidos suspensos, matéria particulada, microrganismos e sais dissolvidos em um único arranjo integrado, possibilitando a produção de água compatível com os requisitos de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

Os principais resultados obtidos a partir do dimensionamento são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados esperados a partir do dimensionamento do projeto

Aspecto	Resultado esperado
Produção de água potável	20 a 30 L/s
Produção diária	1.728–2.592 m³/dia
População beneficiada	9.600 a 14.400 habitantes*
Recuperação mínima	50%
Operação	24 h/dia
Tecnologia principal	Osmose Reversa
Expansão futura	até 60 L/s

*Estimativa populacional atendida considerando consumo per capita de 150 L/hab.dia, valor usualmente adotado em estudos e projetos de abastecimento urbano.
Fonte: elaboração própria.

A primeira etapa consiste em filtração automática por discos autolimpantes com granulometria de 130 µm, destinada à remoção de sólidos suspensos grosseiros presentes na água captada. Em seguida, a água é encaminhada ao sistema de ultrafiltração composto por membranas de fibras ocas em PVDF, com porosidade nominal inferior a 0,03 µm. Essa etapa tem como finalidade reduzir turbidez, remover partículas coloidais e minimizar o potencial de incrustação e bioincrustação das membranas de osmose reversa, aspecto crítico para a longevidade do sistema (GREENLEE et al., 2009).

Como barreira complementar de proteção microbiológica, o sistema incorpora desinfecção por radiação ultravioleta de média pressão, contribuindo para redução da atividade biológica e aumento da vida útil dos elementos filtrantes das etapas subsequentes do tratamento.

A etapa principal do tratamento é realizada por osmose reversa. Nessa unidade, a água é submetida a pressões superiores à pressão osmótica, permitindo a passagem seletiva de moléculas de água através de membranas semipermeáveis e promovendo a retenção dos sais dissolvidos. Para manutenção do desempenho hidráulico e qualidade do permeado é necessária uma seleção adequada dos elementos de membrana e controle contínuo dos parâmetros operacionais (KUCERA, 2015). Sendo assim, considerando a elevada amplitude de salinidade do manancial, as membranas foram especificadas para suportar condições operacionais variáveis, garantindo estabilidade do processo mesmo durante oscilações decorrentes das marés e das condições hidrológicas locais (GHAFFOUR; MISSIMER; AMY, 2013).

O sistema incorpora ainda procedimentos automatizados de limpeza química (Cleaning in Place – CIP), dosagem de agentes anti-incrustantes, monitoramento contínuo de pressão, vazão, turbidez e condutividade, além de dispositivos de controle operacional integrados (GREENLEE et al., 2009). Tais estratégias são amplamente empregadas em sistemas de osmose reversa para mitigação de incrustações, controle de fouling e aumento da vida útil das membranas (KUCERA, 2015).

A operação desenhada terá um elevado nível de automação, incluindo monitoramento online de variáveis críticas de processo, execução automática de retrolavagens e sequências de limpeza química, contribuindo para maior estabilidade operacional e redução da necessidade de intervenções manuais. O concentrado gerado pela osmose reversa (rejeito salino) será destinado a uma Estação de Tratamento de Esgoto por MBBR. Estudos específicos conduzidos para avaliação dessa alternativa indicaram compatibilidade operacional e ambiental para o recebimento do concentrado pelo sistema de tratamento de esgotos existente (SABESP, 2024).

Após a dessalinização, a água permeada recebe pós-tratamento constituído por desinfecção residual com hipoclorito de sódio, fluoretação e ajustes finais necessários ao atendimento integral dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2021). A implantação do sistema também considerou a análise da cobertura vegetal da área do empreendimento, de modo a minimizar a supressão e atender às condicionantes ambientais (SABESP, 2019).

A solução foi concebida em configuração modular industrializada, permitindo elevado grau de integração eletromecânica, instrumentação embarcada e automação operacional. Essa abordagem reduz o tempo de implantação em campo, facilita futuras ampliações de capacidade e proporciona maior padronização dos procedimentos de operação e manutenção quando comparada a arranjos convencionais executados integralmente em obra.

O desempenho final do sistema será validado durante as etapas de comissionamento e operação assistida. A integração entre sistemas de pré-tratamento por membranas, desinfecção ultravioleta e osmose reversa foi dimensionada para promover elevada remoção de sólidos dissolvidos, partículas suspensas e microrganismos, assegurando robustez operacional ao sistema. Além do incremento da oferta hídrica, o empreendimento deverá proporcionar maior flexibilidade operacional ao sistema de abastecimento local, reduzindo a dependência exclusiva dos mananciais superficiais existentes (ANA, 2021).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O principal diferencial técnico do empreendimento reside na capacidade de tratamento de uma água bruta com características extremamente variáveis. Poucos sistemas de abastecimento público no Brasil operam sob condições em que a salinidade da água afluente pode variar desde condições próximas à água doce até concentrações equivalentes à água marinha. Essa condição exige elevado grau de robustez dos sistemas de pré-tratamento e rigoroso controle operacional para evitar fenômenos de incrustação, colmatação e perda de desempenho das membranas (GREENLEE et al., 2009).

Outro aspecto relevante refere-se à aplicação da dessalinização em escala de abastecimento público municipal. Ao contrário de outros países com elevada restrição hídrica, a aplicação de sistemas de dessalinização em sistemas públicos de abastecimento no Brasil ainda é limitada e concentrada principalmente em iniciativas de menor porte no semiárido nordestino.

Embora existam experiências de dessalinização em comunidades isoladas, aplicações industriais e sistemas insulares, a utilização dessa tecnologia como reforço estratégico para um sistema urbano de abastecimento representa um importante avanço para o setor de saneamento brasileiro (ANA, 2021; GHAFFOUR; MISSIMER; AMY, 2013). Nesse contexto, a implantação do sistema de Ilhabela representa um caso relevante de adoção da tecnologia em escala municipal no Sudeste brasileiro, ampliando as possibilidades de replicação da solução em outros municípios costeiros.

Diferentemente dos sistemas convencionais de dessalinização aplicados em captações marinhas com características relativamente estáveis, o sistema de Ilhabela foi concebido para operar com água bruta submetida a variações significativas de salinidade em função dos ciclos de maré. Essa condição impôs requisitos específicos de automação, monitoramento e proteção das membranas, tornando o empreendimento um caso singular de aplicação da tecnologia no contexto do saneamento brasileiro.

A relevância da solução torna-se ainda mais evidente quando analisada sob a perspectiva da sazonalidade populacional característica de Ilhabela. Durante os períodos de alta temporada, a população flutuante pode representar múltiplas vezes a população residente, provocando aumentos expressivos na demanda por água tratada. Nesse contexto, a dessalinização atua como fonte complementar estratégica, contribuindo para aumentar a capacidade de resposta do sistema de abastecimento frente aos picos de consumo observados no município.

A adoção de um sistema modular por membranas permite flexibilidade operacional, expansão futura por acréscimo de módulos e maior capacidade de adaptação às variações de qualidade da água bruta, reduzindo riscos associados à sazonalidade hídrica característica de regiões insulares.

A ultrafiltração como pré-tratamento da osmose reversa representa uma estratégia amplamente consolidada em sistemas modernos de dessalinização, contribuindo para a redução do potencial de colmatação das membranas, aumento da estabilidade operacional e otimização dos intervalos entre limpezas químicas. Essa configuração torna-se particularmente relevante em Ilhabela devido à elevada variabilidade da qualidade da água captada ao longo dos ciclos de maré.

O projeto também apresenta relevância sob o ponto de vista da adaptação às mudanças climáticas, uma vez que permite o aproveitamento de uma fonte hídrica menos dependente dos regimes pluviométricos e mais resiliente frente aos cenários de escassez hídrica (ELIMELECH; PHILLIP, 2011). Adicionalmente, o adequado gerenciamento do rejeito salino, por meio da destinação à ETE com tecnologia MBBR estudada previamente, demonstra uma abordagem integrada do ciclo da água, alinhada aos princípios da economia circular.

Sob a perspectiva de implantação, a adoção de uma solução modular industrializada contribui para redução do prazo de instalação, padronização construtiva e simplificação das atividades de comissionamento e partida operacional. Essa abordagem também favorece futuras ampliações de capacidade mediante incorporação de novos módulos de tratamento, reduzindo intervenções civis e aumentando a flexibilidade do sistema frente à evolução da demanda hídrica do município.

Outro aspecto relevante refere-se ao elevado grau de automação incorporado à solução, permitindo monitoramento contínuo das variáveis críticas do processo, execução automática de rotinas de retrolavagem e limpeza química, além da integração dos sistemas de proteção operacional. Essa abordagem contribui para aumentar a confiabilidade do processo de dessalinização e reduzir a dependência de intervenções operacionais frequentes.

Sob a ótica da gestão de recursos hídricos, o empreendimento amplia o conjunto de alternativas tecnológicas disponíveis para sistemas de abastecimento sujeitos a restrições de expansão de mananciais. A adoção de fontes alternativas, associada a tecnologias avançadas de tratamento, tende a assumir papel crescente na

estratégia de adaptação dos sistemas de saneamento aos cenários de variabilidade climática, crescimento da demanda e restrições ambientais para implantação de novas captações.

CONCLUSÕES

A implantação do sistema modular de dessalinização em Ilhabela demonstra a viabilidade técnica da utilização da osmose reversa como alternativa complementar para abastecimento público em regiões costeiras sujeitas à limitação de mananciais convencionais. Além de contribuir para o aumento da segurança hídrica de Ilhabela, a solução evidencia o potencial da dessalinização por membranas como ferramenta estratégica para diversificação das fontes de abastecimento, adaptação às mudanças climáticas e fortalecimento da resiliência dos sistemas de saneamento brasileiros.

Do ponto de vista tecnológico, o empreendimento se destaca pela aplicação integrada de ultrafiltração, osmose reversa, automação avançada e configuração modular industrializada em um sistema projetado para tratar água submetida a amplas variações de salinidade. Essa característica diferencia o projeto de aplicações convencionais de dessalinização e amplia sua relevância como referência técnica para futuros empreendimentos de saneamento no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Atlas Águas: Segurança Hídrica no Abastecimento Urbano. Brasília: ANA, 2021.

2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 mai. 2021.

3. ELIMELECH, M.; PHILLIP, W. A. *The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment. Science*, v. 333, n. 6043, p. 712-717, 2011.

4. GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. *Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability. Desalination*, v. 309, p. 197-207, 2013.

5. GREENLEE, L. F. et al. *Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges. Water Research*, v. 43, n. 9, p. 2317-2348, 2009.

6. IBGE. Cidades@: Ilhabela – Panorama. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ilhabela/panorama. Acesso em: 10 jun. 2026.

7. KUCERA, J. Reverse Osmosis: Design, Processes and Applications for Engineers. Hoboken: Wiley, 2015.

8. SABESP. Elaboração do Plano Diretor de Saneamento Básico dos Municípios Operados pela SABESP na Bacia Hidrográfica do Litoral Norte – UGRHI 03. São Paulo: Sabesp, 2011. Relatório Técnico.

9. SABESP. Sistema de Dessalinização de Água do Ribeirão Água Branca – Estudo de Concepção. São Paulo: Sabesp, 2017.

10. SABESP. Sistema de Dessalinização do Ribeirão Água Branca – Município de Ilhabela: Laudo de Cobertura Vegetal. São Paulo: Sabesp, 2019.

11. SABESP. Relatório Técnico – Efeitos do Recebimento do Rejeito de uma Estação de Dessalinização de Água em uma Estação de Tratamento de Esgoto por MBBR. São Paulo: Sabesp, 2024.

12. SHANNON, M. A.; BOHN, P. W.; ELIMELECH, M.; GEORGIADIS, J. G.; MARINAS, B. J.; MAYES, A. M. Science and Technology for Water Purification in the Coming Decades. Nature, v. 452, p. 301–310, 2008.