
ADEQUAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA DO CHILLER: Proposta de sistema de filtragem por osmose reversa, purga e análise contínua

João Nate de Oliveira Filho¹, Alyson Batista², Luan Felipe Longhi³, Claudio Wellgton Alcantara Figueira⁴, Camila Fogaça de Oliveira⁵ e Adriana Giseli Leite Carvalho⁶

RESUMO

O presente artigo propõe a adequação do tratamento de água em um sistema de resfriamento industrial (*Chiller*), com base na análise de dados operacionais e laboratoriais. Identificou-se um cenário crítico de corrosão ativa, evidenciado pela elevada concentração de ferro e pela deficiência de inibidores químicos, especialmente nitrito. A metodologia consistiu no desenvolvimento de um sistema automatizado composto por purga controlada, dosagem química e filtração por membrana em osmose reversa. Os resultados indicam melhoria significativa na qualidade da água, estabilidade operacional e aumento da eficiência térmica. Conclui-se que a automação do tratamento hídrico é uma solução eficaz, de baixo custo e alto impacto na confiabilidade do sistema.

Palavras-chave: Tratamento de água. *Chiller*. Corrosão. Automação. Eficiência Energética.

WATER TREATMENT ADAPTATION FOR CHILLER SYSTEMS: Proposal of reverse osmosis filtration, blowdown, and continuous monitoring system

SUMMARY

This article proposes the adjustment of water treatment in an industrial cooling system (*Chiller*), based on the analysis of operational and laboratory data. A critical scenario of active corrosion was identified, evidenced by high iron concentration and a deficiency in chemical inhibitors, particularly nitrite. The methodology consisted of developing an automated system comprising controlled blowdown, chemical dosing, and reverse osmosis membrane filtration. The results indicate a significant improvement in water quality, operational stability, and increased thermal efficiency. It is concluded that water treatment automation is an effective, low-cost solution with a high impact on system reliability.

Key-words: Water treatment. *Chiller*. Corrosion. Automation. Energy efficiency.

¹ Filiação: UniSenai Campus Londrina. E-mail: joao.nate.filho@gmail.com

² Filiação: UniSenai Campus Londrina. E-mail: alysonbp10@gmail.com

³ Filiação: UniSenai Campus Londrina. E-mail: luan.longhi2007@gmail.com

⁴ Filiação: UniSenai Campus Londrina. E-mail: well_alcfig@hotmail.com

⁵ Filiação: UniSenai Campus Londrina. E-mail: camila.oliveira@sistemapiep.org.br (Autor correspondente)

⁶ Filiação: UniSenai Campus Londrina. E-mail: adriana.carvalho@sistemapiep.org.br

1 INTRODUÇÃO

O tema do tratamento de águas e efluentes tem ganhado crescente relevância na sociedade contemporânea, impulsionado tanto pela preocupação ambiental quanto pela necessidade de garantir a disponibilidade de recursos hídricos de qualidade. Embora o Brasil possua, em comparação a outros países, uma posição privilegiada em relação à disponibilidade de água, dois desafios de grande importância persistem: a má distribuição dos recursos hídricos no território — uma vez que as regiões mais populosas não coincidem com as áreas de maior oferta — e a degradação da qualidade da água, especialmente nos grandes centros urbanos.

Apesar dos avanços nos índices de abastecimento de água potável e no tratamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, ainda se mostram insuficientes para assegurar padrões adequados de qualidade nas águas superficiais brasileiras. Esse cenário evidencia a necessidade de soluções mais eficientes, tanto do ponto de vista técnico quanto operacional, que integrem conhecimento teórico e aplicação prática (Schorr, 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe uma adequação no tratamento da água em sistemas industriais de resfriamento do tipo *Chiller*, com foco na melhoria da eficiência e na preservação dos equipamentos. A partir da análise de dados históricos e relatórios periódicos, foi identificado um problema crítico caracterizado pela ocorrência de corrosão ativa e pela deficiência de inibidores químicos. Esse quadro foi evidenciado pela elevada concentração de ferro na água, comprometendo o desempenho térmico do sistema, além da significativa redução dos níveis de nitrito, essencial para o controle da corrosão.

Diante dessa problemática, o objetivo deste estudo é desenvolver e propor um protótipo físico, capaz de automatizar e otimizar o tratamento hídrico do sistema. A metodologia adotada baseia-se na construção de um modelo funcional na Oficina do UniSenai, incorporando componentes como fonte de alimentação 24V, bomba de diafragma 24V, carcaça de filtro tipo bag. A solução proposta estrutura-se em quatro pilares principais: renovação automática da água por meio de purgas controladas, aplicação contínua de proteção química, filtração em corrente lateral (*bypass*) e monitoramento interno periódico.

Dessa forma, espera-se que o sistema desenvolvido contribua para o aumento da eficiência térmica dos equipamentos, a redução de processos corrosivos e a ampliação da vida útil dos sistemas de resfriamento, além de reforçar a importância da integração entre teoria e prática na área de tratamento de águas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contexto Histórico do Saneamento e Efluentes

Há registros de práticas de saneamento básico desde a Antiguidade em diferentes civilizações. Athaydes et al. (2020) realizaram uma relevante revisão histórica, organizando uma linha do tempo com fatos marcantes da evolução do setor. Com o surgimento das primeiras cidades, surgiram impactos ambientais decorrentes do descarte de resíduos sem tratamento.

A evolução das técnicas de afastamento de dejetos, como aquedutos e banheiros públicos, sofreu uma regressão no período feudal, retomando o crescimento com a Revolução Industrial. Schorr (2022) ressalta que, embora essas obras afastassem os esgotos das habitações, elas propiciavam apenas o despejo primário, poluindo os recursos hídricos e provocando impactos ambientais indesejáveis.

Até a década de 1970, as ações voltadas ao tratamento de efluentes industriais eram raras. Segundo a publicação do SENAI-RS (2003 *apud* Schorr, 2022), os primeiros sistemas focavam apenas em "livrar-se" das águas residuárias para cumprir leis ambientais. Esta fase ficou conhecida como tratamento "fim de tubo" (*end of pipe*).

Com a influência do Sistema Toyota de Produção, o foco deslocou-se para a otimização de matérias-primas, água e energia. De acordo com Schorr (2022), ao investir na otimização desses fatores, ocorre um alívio nas características do efluente final, otimizando a própria Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

2.2 Corrosão em Sistemas Industriais

A corrosão é entendida como a deterioração de um material, geralmente metálico, decorrente de reações químicas ou eletroquímicas com o meio ambiente

(Gentil, 1996). No contexto industrial, ela assume papel de relevância técnica e econômica, associada à redução da vida útil de equipamentos e perda de eficiência operacional.

A automação industrial surge como aliada no controle desse fenômeno, atuando por meio de sensores e sistemas supervisórios, monitoram-se variáveis como pH, temperatura e condutividade. Segundo Gasparini (2020), muitas empresas buscam inibidores para conter o avanço da corrosão, visando substituir intervenções químicas que podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

2.3 Parâmetros Químicos da Água

2.3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é definido como o cologaritmo decimal da concentração efetiva de íons hidrogênio: $pH = -\log[H^+]$. O equilíbrio desses íons determina se a água terá caráter ácido ou básico. A relação entre dióxido de carbono e bicarbonatos é o principal fator de definição do nível do pH em águas naturais (Schorr, 2022).

2.3.2 Ferro e Manganês

Presentes em solos e rochas, o ferro e o manganês afetam a qualidade da água. Concentrações superiores a 0,5 mg/L provocam manchas em louças e roupas. Em ambientes com baixo oxigênio, como poços artesianos, encontram-se na forma solúvel: (Fe^{2+} e Mn^{2+})

Ao entrarem em contato com o ar, oxidam-se para formas insolúveis: gerando turbidez e depósitos (Schorr, 2022).

2.3.3 Alcalinidade

A alcalinidade é a capacidade de neutralizar ácidos, atuando como um sistema tampão. Os principais constituintes são os bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Segundo Schorr (2022), para pH superiores a 9,4, há predominância de hidróxidos; entre 8,3 e 9,4, predominam os carbonatos.

2.4 Processo de Osmose Reversa

A osmose reversa é um processo de separação por membranas utilizado para reter solutos de baixo peso molecular, como sais inorgânicos. Diferente da osmose natural, aplica-se uma pressão externa superior à pressão osmótica no lado da solução mais concentrada, forçando o fluxo do solvente no sentido oposto (Schorr,, 2022).

As membranas atuais possuem alta resistência a faixas de pH e temperaturas elevadas, sendo fundamentais para a produção de água ultrapura e reuso de efluentes. Contudo, exigem pré-tratamentos para evitar o fouling (obstrução da membrana) por sólidos suspensos ou matéria orgânica.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa e Cenário do Estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de natureza mista, com predominância qualitativa, voltada ao desenvolvimento de uma solução de engenharia para problemas práticos industriais.

A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma demanda real identificada na empresa Greif, localizada no município de Londrina, Paraná. O contato inicial ocorreu em 27 de março de 2026, por meio de uma entrevista técnica com o líder de manutenção da empresa, o qual relatou as dificuldades enfrentadas no sistema de resfriamento. Para o desenvolvimento e validação do protótipo, os experimentos práticos foram conduzidos nos laboratórios do UniSenai

3.2 Procedimentos de Coleta de Dados

A coleta de dados estruturou-se em três etapas principais:

1) Visita Técnica e Registro Visual: Foi realizada uma inspeção presencial nas dependências da empresa para o mapeamento do processo produtivo e compreensão global do funcionamento do *Chiller*. Durante a visita, utilizaram-se técnicas de registro fotográfico e filmagens para posterior análise da disposição física dos equipamentos.

Figura 1 – Sistema de Água Gelada *Chiller*



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2) Entrevista Técnica: Realizou-se uma entrevista semiestruturada com o gestor da manutenção para compreender o histórico de falhas, as rotinas de manutenção e os impactos operacionais decorrentes da qualidade da água.

3) Análise da Qualidade da Água: A empresa forneceu os laudos técnicos emitidos por uma empresa terceirizada responsável pela análise laboratorial do sistema de resfriamento. Adicionalmente, coletou-se uma amostra física da água do *Chiller* para avaliação. A análise dos laudos indicou uma inconformidade no tratamento químico, caracterizada pela escassez de nitrito (agente passivador) e consequente elevação nos níveis de ferro total, evidenciando processos corrosivos ativos no sistema. Os dados analíticos detalhados encontram-se apresentados na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Relatório de análise da água

ANÁLISE DA ÁGUA – SISTEMA P13 – CHILLER (NOVO)

PARÂMETROS	RESULTADOS POR MÊS						PADRÃO RECOMENDADO	UNIDADE	AVALIAÇÃO (MAR/2026)
	17/10/2025	14/11/2025	12/12/2025	14/01/2026	11/02/2026	13/03/2026			
pH	8,23	8,29	8,41	7,60	7,75	8,80	8,0 – 10,0	-	DENTRO
Nitrito	376,02	320,95	317,01	16,56	26,25	15,37	200 – 800	ppm	ABAIXO
Ferro	0,12	0,12	0,15	1,69	1,60	1,80	0,1 – 0,5	ppm	ACIMA
Condutividade	786,00	795,00	824,00	1.530,00	1.625,00	2.782,00	até 2.000	µS/cm	ACIMA
Alcalinidade Total	185,00	165,60	150,00	145,00	130,00	135,00	150 – 200	ppm CaCO ₃	ABAIXO
Dureza Total	212,20	197,80	189,70	219,90	209,70	230,80	200 – 500	ppm CaCO ₃	DENTRO
STD (Sólidos Totais Dissolvidos)	391,00	397,00	412,00	715,00	758,00	1.391,00	até 1.000	ppm	ACIMA
Sulfato	43,00	38,00	39,00	55,00	72,00	105,00	até 250	ppm	DENTRO
Fosfato	2,33	2,27	1,78	2,23	1,85	2,48	1,0 – 5,0	ppm	DENTRO
Cloreto	44,20	50,30	50,80	119,60	114,10	186,30	até 250	ppm	DENTRO
Manganês	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	até 0,2	ppm	DENTRO

RESUMO DO PADRÃO AO LONGO DOS MESES	OUTUBRO – DEZEMBRO/2025	JANEIRO – FEVEREIRO/2026	MARÇO/2026	LEGENDA	
	Padrão estável e dentro dos limites recomendados. Parâmetros controlados e sistema em equilíbrio.	Início de desequilíbrio químico. Queda do nitrito e pH, aumento de ferro, condutividade, STD, cloreto e sulfato.	Desequilíbrio acentuado. STD e Condutividade acima do limite, ferro elevado, nitrito muito baixo e pH ainda instável.	DENTRO	= Dentro do padrão
				ABAIXO	= Abaixo do padrão
				ACIMA	= Acima do padrão

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.3 Desenvolvimento do Aparato Experimental

Para simular a proposta de um sistema integrado de purga, dosagem e filtração mecânica, projetou-se e construiu-se uma maquete funcional em escala reduzida. Os materiais utilizados nesta etapa inicial constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificação dos materiais utilizados no protótipo inicial.

Item	Descrição / Especificação	Função no Experimento
1	Bomba pressurizada para sistemas de Osmose Reversa (100 GPD)	Promover a sucção e circulação do fluido
2	Mangueiras flexíveis (diâmetros de 3/8", 6 mm e 8 mm)	Circuitos de drenagem e sucção de fluidos
3	Placas de acrílico (dimensões 20x20 cm)	Construção do reservatório/recipiente de água

4	Kit Membrana 100 GPD com vaso (Deionizador / Osmose Reversa)	Sistema de filtração mecânica e retenção de partículas
5	Fonte de alimentação chaveada de 24V (entrada 117V / 220V)	Alimentação elétrica dos componentes
6	Tubos e conexões de PVC	Estrutura de desvio de fluxo (<i>Bypass</i>)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Sistema atual

A análise dos laudos técnicos da empresa parceira revelou uma desestabilização drástica no sistema de resfriamento P13 (*Chiller*) no início de 2026

- Queda de Agentes Passivadores: A concentração de nitrito sofreu uma redução alarmante, caindo de 317,01 ppm (dezembro de 2025) para apenas 15,37 ppm (março de 2026). Essa escassez de nitrito deixou as superfícies metálicas desprotegidas contra a oxidação
- Corrosão Ativa: Como consequência direta, os níveis de ferro total atingiram 1,80 ppm, valor que supera significativamente o padrão recomendado de 0,1 a 0,5 ppm, confirmando um processo corrosivo em curso
- Sólidos e Condutividade: Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) chegaram a 1.391,00 ppm (limite de 1.000 ppm) e a condutividade atingiu 2.782,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (limite de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), fatores que promovem incrustações e reduzem a eficiência térmica

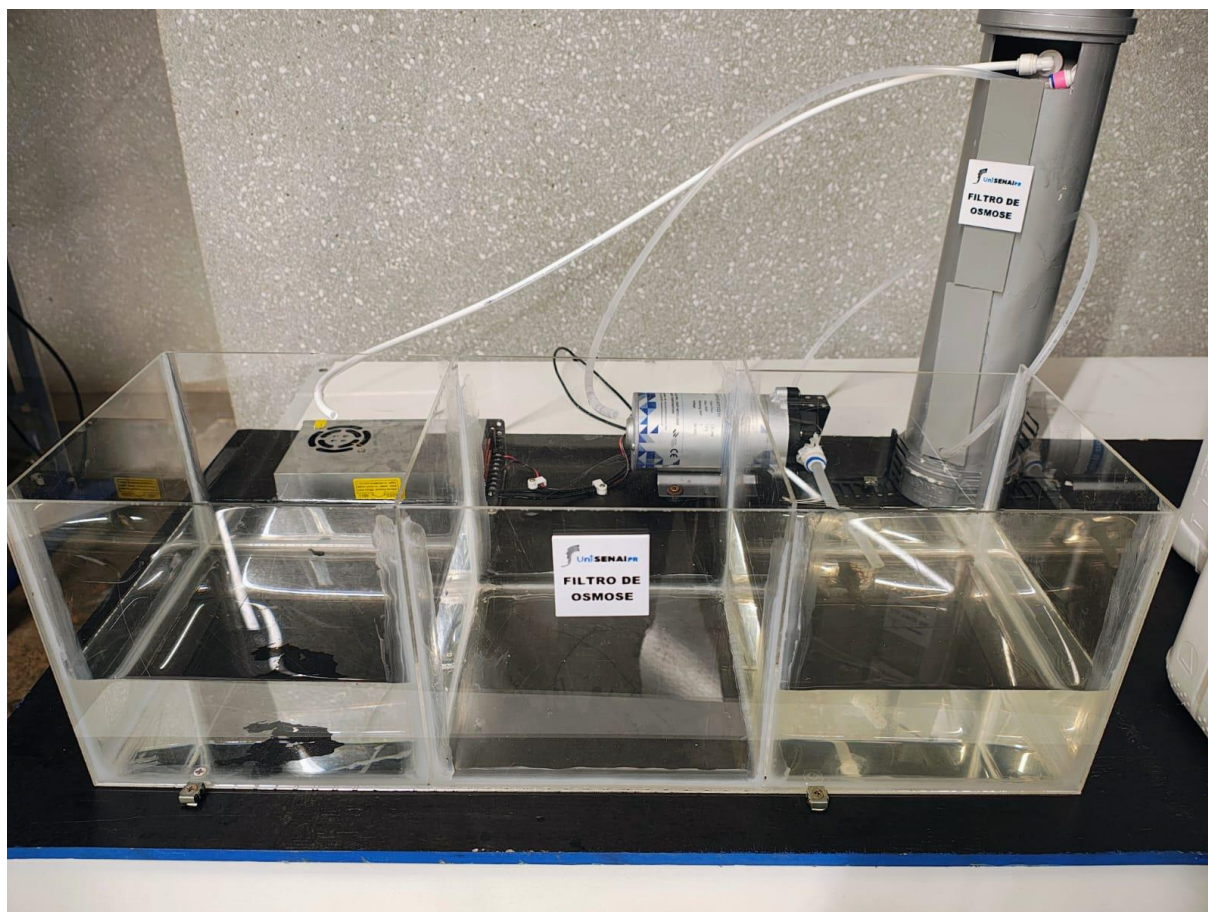
4.2 Construção do Protótipo

A construção da maquete física na oficina do UniSenai serviu como prova de conceito para as soluções integradas.

- Eficácia da Filtragem: A simulação utilizando a membrana e o sistema de desvio de fluxo (*bypass*) comprovou a capacidade de retenção contínua de sólidos suspensos e particulados de ferro, mitigando a turbidez da água

- Osmose Reversa: O uso do filtro de osmose reversa demonstrou ser viável para eliminar a "ferrugem" visível, mantendo a água em condições ideais para o reaproveitamento no sistema

Figura 3 - Protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.3 Impactos financeiros

Os resultados indicam que o modelo atual de manutenção da fábrica é reativo e tardio, com análises laboratoriais realizadas apenas a cada 30 dias.

- Eficiência Energética: A corrosão e o acúmulo de ferro forçam o *Chiller* a trabalhar com maior carga para manter a troca térmica, o que dispara o consumo de energia elétrica
- Previsibilidade: A discussão dos resultados aponta que a automação (sensores de pH e condutividade integrados a bombas dosadoras) transformará o processo em uma operação preditiva e autônoma

- Independência: A implementação do protocolo de teste rápido por colorimetria permitirá que a própria equipe valide o sistema em menos de dois minutos, eliminando a dependência de laudos externos mensais e garantindo a proteção constante dos moldes e tubulações

Os dados coletados confirmam que a integração de filtragem por osmose, purga, continua é uma solução de baixo custo e alto impacto na confiabilidade e vida útil dos sistemas industriais

4.4 Proposta de Continuidade e Automação

Como diretriz para a continuidade do projeto e eventual implementação em escala industrial pela empresa parceira, o grupo prevê um modelo de manutenção preditiva e totalmente autônoma. Com a instalação de um Controlador Central Automatizando os processos. Este dispositivo atuará como a inteligência central do sistema, gerenciando de forma integrada a análise da água em tempo real e coordenando dinamicamente os demais componentes periféricos.

Abaixo, detalha-se a infraestrutura necessária para a consolidação deste modelo avançado:

- Controlador Central Automatizado (Gerenciador de Processos): Este componente é responsável por centralizar e gerenciar a análise de água em tempo real. Ele recebe continuamente os dados analíticos dos sensores, processa as informações por meio de lógica programável e determina instantaneamente as ações de dosagem e purga, adaptando-se perfeitamente às oscilações operacionais da planta.
- Sensores em Tempo Real: Sistema de monitoramento contínuo equipado com sensores de pH e condutividade elétrica conectados diretamente ao fluxo de água. A leitura constante desses parâmetros físico-químicos permite diagnosticar desvios de qualidade no exato momento em que ocorrem, enviando sinais imediatos ao controlador central para que o sistema execute respostas corretivas autônomas.
- Bombas Dosadoras: Destinadas à injeção precisa e automatizada do agente passivador (nitrito) na corrente de água. Sob o comando do controlador central,

o volume injetado deixa de ser baseado em intervalos de tempo fixos e passa a ser calculado proporcionalmente à necessidade real detectada pelos sensores, otimizando o consumo de insumos químicos.

- Válvulas Solenoides: Componentes responsáveis pelo controle automatizado das rotinas de purga, alívio e descarte do sistema. Substituindo a limitação de uma configuração única, o uso de um conjunto de válvulas solenoides coordenados pelo controlador permitem criar estratégias dinâmicas de escoamento, atuando de forma síncrona com os ciclos de dosagem para manter a concentração de sólidos totais dissolvidos sempre dentro dos limites operacionais seguros.

A evolução imediata do projeto contempla o desenvolvimento da malha de controle fechado, assegurando a perfeita comunicação entre os sensores de monitoramento em tempo real, o controlador central, as bombas e as válvulas solenoides. Para elevar o índice de segurança, sugere-se correlacionar este modelo protocolo de teste rápido por colorimetria, servindo como uma ferramenta de validação e auditoria em campo para garantir a confiabilidade absoluta dos dados. A implementação desta arquitetura trará uma série de vantagens competitivas para a empresa parceira, como a proteção severa contra a corrosão de ativos industriais devido à estabilidade química e, conseqüentemente, a maximização da eficiência energética e da autonomia operacional da planta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo cumpriu integralmente o objetivo de propor e validar um sistema integrado de tratamento para a água de resfriamento industrial. Através da análise diagnóstica, foi possível comprovar a existência de um processo de corrosão severa e ativa, impulsionado pela redução crítica do agente passivador nitrito e pelo conseqüente aumento dos níveis de ferro total na água. Os resultados demonstraram que o modelo de manutenção atual é reativo, operando com análises tardias que geram perdas de eficiência térmica e aumento no consumo de energia elétrica.

A construção e o teste da maquete funcional confirmaram a viabilidade técnica da solução proposta, especialmente no que diz respeito à eficácia da filtragem por

membrana e do sistema de desvio de fluxo para a remoção de particulados de ferro. O sistema demonstrou potencial para garantir a estabilidade operacional e proteger a integridade física dos moldes e equipamentos hidráulicos. Assim, a pesquisa valida que a integração entre purga controlada, dosagem química e filtração é uma estratégia de baixo custo e alto impacto para a confiabilidade e longevidade dos ativos industriais.

REFERÊNCIAS

ATHAYDES, T.; PAROLIN, M.; CRISPIM, J. **A evolução do saneamento básico na história e o debate de políticas públicas**. Revista de Direito, Faculdade de Gestão e Inovação, São Paulo, 2020.

GASPARINI, R. P. **Monitoramento e controle de corrosão em sistemas industriais**. 2020.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

SCHORR, Adriano de Souza. **Tratamento de águas e efluentes**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2022.



Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.