SOLUÇÃO DE LIMPEZA QUÍMICA EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO (UF) COM CONTAMINAÇÃO OLEOSA (ÓLEO MINERAL) EM ETA: RESULTADOS PROMISSORES COM TECNOLOGIA VALUE+

Rodrigo Alvim Hudson Cadinha[(1)]
Engenheiro mecânico, pós-graduado em Gestão de Projetos e Estratégia Empresarial, com experiência nas indústrias química e de sistemas de membranas para tratamento de água (OR, NF, UF e MF). Membro do Projeto Acorn, focado na expansão global da linha de produtos químicos para membranas do Grupo Kurita após aquisição da Avista Technologies (EUA). Responsável pela coordenação técnica e comercial da tecnologia de membranas no Brasil, em sinergia com equipes globais e reportando à liderança nacional.

Fábio Pereira de Carvalho[(2)]
Bacharel em Química Ambiental pela Universidade de São Paulo – USP (2013) e Mestrado em Meio Ambiente, Saúde e Sustentabilidade pela Faculdade de Saúde Pública da USP (2021). Especialista em Suporte Técnico e Desenvolvimento da DuPont Water & Solutions (DWS) desde 2013. Atualmente responsável técnico pelo desenvolvimento de novos mercados e aplicações para todo o portfólio de membranas e resinas de troca iônica.

Marcelo Thiago Carniato Rodrigues[(3)]
Bacharel em Química com Atribuições Tecnológicas pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP (2012), pós-graduado em Remediação de Áreas Contaminadas pelo SENAC (2020). Especialista em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) pela Kurita do Brasil.

Endereço[(1)]**:** Av. Japão, 1800 – Bairro Núcleo Ayres – Artur Nogueira – São Paulo - CEP: 13160-500 - Brasil - Tel: +55 (19) 3827-8333 - Cel: +55 (19) 99641-8255 - e-mail: r.cadinha65@kurita-water.com.

RESUMO

O saneamento ambiental no Brasil enfrenta desafios significativos, tanto no setor doméstico quanto no industrial. Apesar do Marco Legal do Saneamento estabelecer metas ambiciosas — como 99% de acesso à água potável e 90% à coleta e tratamento de esgoto até 2033 —, a realidade ainda é preocupante: mais de um terço da população carece de água tratada, e mais da metade não possui acesso adequado à coleta de esgoto.
O uso de tecnologias avançadas, mais eficazes que os tratamentos convencionais aplicados em estações de tratamento de água (ETAs), tal como a Ultrafiltração (UF), tem elevado a capacidade produtiva e a performance dos sistemas em operação.
A contaminação por óleo mineral nas membranas de ultrafiltração representa um desafio significativo para a eficiência da produção de água potável. Nesse sentido, a aplicação da tecnologia Value+, uma solução inovadora que melhora a limpeza química das membranas e aumenta significativamente a vazão de produção, demonstrou resultados bastante promissores na remoção de contaminantes oleosos. Os resultados incluíram a redução da TMP de 1,50 para 0,80 bar (47%), aumento da taxa de produção de 40 m³/h para 200 m³/h (500%) e eficiência de 99,7% na remoção de turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Limpeza Ultrafiltração (UF); Contaminação Oleosa (óleo mineral); Abastecimento Público; Aumento da Vazão

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável de qualidade é um dos pilares fundamentais do saneamento básico e da saúde pública. No Brasil, apesar dos avanços legislativos, como o novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020)[1] que estabelece a meta de 90% de tratamento de esgoto até 2033, o país ainda enfrenta grandes desafios para universalizar o abastecimento de água tratada. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)[2], cerca de 33 milhões de brasileiros ainda não têm acesso regular à água potável. Esse cenário evidencia a necessidade urgente de ampliar a infraestrutura e modernizar os processos de tratamento, especialmente em áreas urbanas periféricas e regiões rurais, onde a cobertura dos serviços é historicamente deficiente.

O tratamento de água para abastecimento público no Brasil é tradicionalmente realizado por Estações de Tratamento de Água (ETAs) que utilizam processos físico-químicos convencionais, como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção[3]. Embora esses métodos apresentem boa eficiência em muitos contextos, eles podem ser insuficientes diante da crescente complexidade dos contaminantes presentes nos mananciais, como resíduos industriais, escoamento urbano e substâncias emergentes. Um exemplo crítico são as águas pluviais impactadas por óleos minerais, frequentemente resultantes de atividades industriais e logísticas. Nesses casos, tecnologias avançadas, como os sistemas de membranas — especialmente a ultrafiltração (UF) —, têm se destacado por sua alta capacidade de remoção de partículas, microrganismos e compostos emulsificados, oferecendo uma alternativa promissora para garantir a segurança e a qualidade da água destinada ao consumo humano.

Nesse contexto, os sistemas de ultrafiltração apresentam um conjunto robusto de vantagens em relação aos métodos convencionais. Sua confiabilidade assegura a constância na qualidade do filtrado, mesmo diante de variações na carga de sólidos suspensos totais (SST) do afluente. A flexibilidade do sistema permite implantação modular com menores exigências de infraestrutura civil, viabilizando investimentos progressivos. Além disso, sua mobilidade possibilita aplicações emergenciais em plataformas móveis. Do ponto de vista econômico, a ultrafiltração apresenta menor custo de instalação e operação automatizada, reduzindo a necessidade de mão-de-obra direta. A qualidade da água obtida é elevada, com SST baixo, turbidez inferior a 0,2 NTU, livre de bactérias e SDI abaixo de 3,0 – características ideais para pré-tratamento em processos de osmose reversa. A tecnologia também oferece barreira física eficaz contra vírus e bactérias, ocupa até 40% menos espaço, reduz o consumo de produtos químicos e geração de lodo e permite fácil ampliação com obras civis simples.

Entre a década de 1960 e o início dos anos 1970, a aplicação da ultrafiltração (UF) para o tratamento de águas residuais industriais era apenas uma proposta conceitual, sem implementação prática. Naquele período, a tecnologia ainda não havia se consolidado como uma solução viável para esse tipo de aplicação (BAKER, 2012)[4].

A principal limitação era o elevado custo associado à UF, o que a tornava economicamente inviável para uso generalizado no tratamento de efluentes industriais. No entanto, a UF passou a ser empregada de forma estratégica em situações específicas, especialmente no tratamento de pequenas correntes residuais provenientes de fontes pontuais, antes que estas fossem misturadas a outras correntes de maior volume.

Além disso, a UF tem sido adotada em cenários nos quais o custo do processo é justificado pelo valor agregado do produto final ou pela necessidade de alta pureza da água tratada (BAKER, 2012)[4]. O custo das plantas de UF varia amplamente, dependendo do porte da instalação, do tipo de solução a ser tratada e da qualidade de água de alimentação.

As membranas de UF são, em sua maioria, estruturas anisotrópicas produzidas pelo processo de Loeb-Sourirajan (BAKER, 2012)[4]. Essas membranas apresentam uma camada superficial finamente porosa, também conhecida como “pele”, sustentada por um substrato microporoso com poros significativamente maiores. A separação seletiva ocorre na camada superficial, enquanto o substrato fornece suporte mecânico à estrutura da membrana.

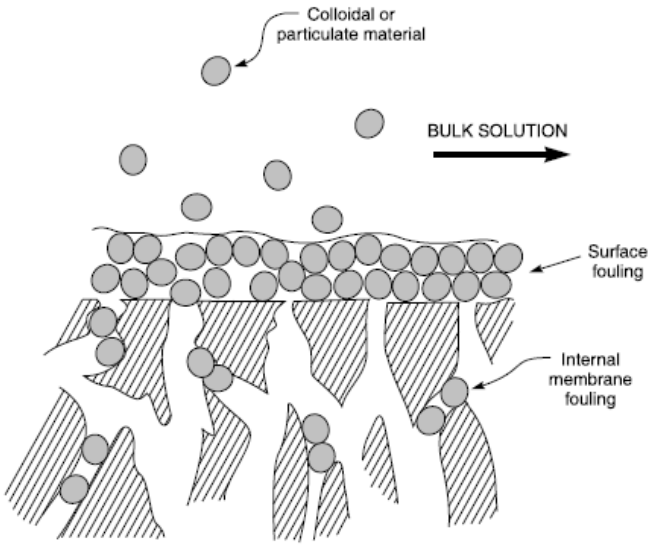
A seletividade das membranas de UF baseia-se principalmente na exclusão por tamanho e geometria dos poros, mas também em alguns casos pelo peso molecular de corte (MWCO, do inglês Molecular Weight Cut-Off) (BAKER, 2012)[4].

Apesar de o MWCO ser amplamente utilizado como referência, outros fatores influenciam significativamente a permeação através das membranas de UF. Um fator crítico é o formato da molécula a ser separada. Estudos demonstram que moléculas lineares e solúveis em água, como polidextran, polietilenoglicol (PEG) e polivinilpirrolidona (PVP), apresentam rejeição significativamente menor (BAKER, 2012)[4]. Isso ocorre porque moléculas poliméricas lineares conseguem penetrar nos poros da membrana com maior facilidade.

Outro fator relevante é o pH da solução de alimentação, especialmente no caso de solutos carregados. A variação do pH pode alterar a carga superficial da membrana e a conformação das moléculas (BAKER, 2012)[4], afetando diretamente a taxa de permeação e a eficiência da separação.

Um dos principais fatores que afetam o desempenho das membranas de UF é a polarização por concentração, fenômeno caracterizado pelo acúmulo de solutos retidos na proximidade ou sobre a superfície da membrana durante a operação (BAKER, 2012)[4]. Este acúmulo cria uma barreira à passagem do solvente, reduzindo o fluxo de permeado, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1. Representação esquemática do fouling em uma membrana de ultrafiltração



Fonte: Fouling in Membrane Filtration and Remediation Methods, 2012. (p. 242)[4].

O comportamento hidrodinâmico do sistema é influenciado pela composição da qualidade de água de alimentação e pela espessura da camada limite (BAKER, 2012)[4]. Quando essa camada se estabiliza ao longo do tempo, a substituição da solução de alimentação por água pura permite a recuperação do fluxo original da membrana, indicando que o fenômeno é, em parte, reversível.

Em membranas com carga superficial negativa, a incrustação associada à polarização por concentração é particularmente difícil de controlar. Para mitigar esse efeito, diversas estratégias são empregadas, incluindo:

- procedimentos de limpeza química;
- retrolavagem periódica;
- descarte de sólidos acumulados.

A manutenção do desempenho de sistemas de UF depende diretamente da eficácia dos procedimentos de limpeza aplicados às membranas. Diversos métodos são utilizados para remover a camada densificada de gel formada por materiais retidos na superfície da membrana (BAKER, 2012)[4]. O método mais simples consiste na circulação de uma solução de limpeza apropriada pelos módulos de membrana por um período determinado.

As incrustações mais comuns são compostas por coloides de polímeros orgânicos e materiais gelatinosos. Essas camadas são mais eficazmente removidas por meio de soluções alcalinas, seguidas por soluções detergentes aquecidas (BAKER, 2012)[4].

Íons como cálcio, magnésio e silicatos, frequentemente problemáticos em sistemas de osmose reversa, geralmente não representam um desafio na UF, pois permeiam a membrana. Uma exceção ocorre na UF de soro de leite, onde altas concentrações de cálcio podem causar incrustações.

A presença de sais ferrosos solúveis em águas de alimentação pode levar à formação de óxidos de ferro hidratados. Esses sais são oxidados a hidróxido férrico pela presença de ar arrastado no sistema. Como o hidróxido férrico é insolúvel em água, sua remoção é realizada por meio de lavagens ácidas.

A frequência de limpeza química deve ser ajustada conforme a aplicação, podendo ocorrer mensalmente ou em intervalos maiores, dependendo das condições operacionais e dos requisitos específicos do sistema.

O procedimento típico de limpeza envolve:

1. Lavagem do sistema com água quente na maior taxa de circulação possível;
2. Aplicação de solução ácida ou alcalina, conforme a natureza da incrustação;
3. Tratamento com solução detergente aquecida;
4. Enxágue completo com água para remoção de resíduos de detergente.

A operação desses sistemas pode ocorrer em duas configurações principais (Figura 2): sistemas pressurizados, nos quais a água é forçada através das membranas por pressão externa, e sistemas submersos, onde as membranas estão imersas em tanques e a filtração ocorre por sucção[5].

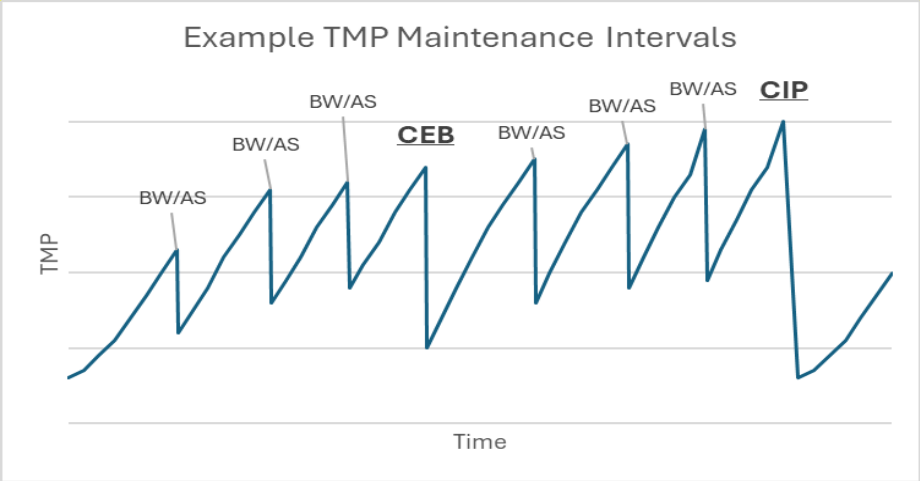
Figura 2. Sistema submerso (esquerda) e sistema pressurizado (direita)



Fonte: MF-UF Cleaner: AvistaClean Instructions for Use (IFU) (p.6)[5]

Durante a operação normal, os sistemas alteram entre ciclos de filtração e limpeza. A filtração ocorre continuamente por períodos de 15 a 60 minutos, enquanto a limpeza física (backwash) é realizada em intervalos regulares, geralmente a cada 15 a 60 minutos, com duração de 30 a 60 segundos. Esse processo utiliza água e ar para remover sólidos acumulados na superfície da membrana. Em casos de incrustações mais severas, são aplicadas limpezas químicas, como o CEB (Chemically Enhanced Backwash), que combina produtos químicos com o backwash, e o CIP (Cleaning in Place), que é um procedimento mais profundo e demorado, realizado com o sistema fora de operação.
A eficiência do sistema é monitorada por parâmetros como a pressão transmembrana (TMP), que representa a diferença de pressão entre a alimentação e o permeado da membrana, e a permeabilidade, que relaciona a vazão de filtrado com a área da membrana. O aumento progressivo da TMP ao longo do tempo é um indicativo de acúmulo de material na membrana, exigindo intervenções de limpeza (Figura 3).

Figura 3. Exemplos de controle de intervalos de manutenção do TMP



Fonte: MF-UF Cleaner: AvistaClean Instructions for Use (IFU) (p.11)[5]

Além disso, os sistemas incorporam testes de integridade para verificar a condição das fibras. Esses testes avaliam a perda de pressão ao longo do tempo e ajudam a identificar fibras rompidas, que podem comprometer a qualidade do filtrado. Quando detectadas, as fibras danificadas podem ser reparadas, embora um número excessivo de reparos leve à substituição do módulo.

A operação eficiente desses sistemas depende da correta alternância entre os modos de filtração e limpeza, da escolha adequada dos produtos químicos, e da manutenção preventiva baseada em parâmetros operacionais e testes de integridade. Essa abordagem garante a longevidade das membranas e a qualidade da água tratada.

Mercado Brasileiro de Membranas

A adoção de tecnologias de membranas para o tratamento de água no Brasil ainda é considerada incipiente quando comparada à de países mais desenvolvidos. No entanto, o potencial de expansão é expressivo, especialmente diante dos desafios crescentes relacionados à gestão hídrica e à sustentabilidade ambiental.

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos impulsionados por pesquisas, inovações e marcos regulatórios têm reposicionado o Brasil como um ator estratégico no cenário sul-americano de soluções sustentáveis para o tratamento de água. Tais avanços visam não apenas solucionar os problemas atuais, mas também antecipar e mitigar desafios futuros relacionados à escassez e à qualidade dos recursos hídricos.

O fortalecimento das parcerias entre instituições acadêmicas e o setor industrial tem se mostrado um fator determinante para o progresso da tecnologia de membranas no país. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) têm contribuído para o aumento da eficiência dos sistemas de membranas e para sua aplicação em diversos segmentos industriais.

Empresas líderes no setor vêm se envolvendo diretamente com usuários finais por meio de projetos em tempo real, com o objetivo de compreender melhor as necessidades específicas de cada aplicação e as complexidades operacionais associadas a sistemas de grande escala.

O mercado brasileiro de tratamento de água e efluentes com membranas está estimado em US$ 54,40 milhões em 2025, com projeção de alcançar US$ 75,15 milhões até 2030, apresentando uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,98% no período de previsão (2025–2030) (MORDOR INTELLIGENCE, 2024)[6].

Diante desse cenário, o mercado apresenta perspectivas promissoras, impulsionado por regulamentações ambientais, investimentos em infraestrutura e avanços tecnológicos. A crescente adoção de tecnologias como a ultrafiltração (UF) reforça a tendência de modernização e sustentabilidade no setor de tratamento de água e efluentes no Brasil.

Mercado Brasileiro de Produtos Químicos

O mercado brasileiro de produtos químicos aplicados a sistemas de ultrafiltração está em expansão, impulsionado pela crescente adoção dessa tecnologia em estações de tratamento de água e efluentes industriais. A ultrafiltração, por ser uma barreira física altamente eficiente na remoção de partículas, sólidos suspensos e microrganismos, exige um regime de manutenção química específico.

Diferentemente de tecnologias como a osmose reversa (OR) e nano-filtração (NF), os sistemas de UF operam com uma demanda de produtos químicos em sua quase totalidade *commodities*. Ainda assim, o uso de agentes de limpeza especialmente formulados em casos específicos nos procedimentos CIP é essencial para manter a integridade das membranas e garantir a eficiência do processo ao longo do tempo.

A tendência de crescimento da UF no Brasil está associada principalmente à sua eficiência operacional e redução na geração de lodo, o que a torna uma solução atrativa para setores como saneamento, alimentos e bebidas, farmacêutico, papel e celulose, e tratamento de água potável.

Além disso, a flexibilidade operacional das membranas UF, permite maior tolerância às variações na qualidade de água bruta, reduzindo a necessidade de ajustes químicos frequentes e aumento a confiabilidade do sistema.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a limpeza química executada em um sistema de ultrafiltração instalado em uma estação de tratamento de água que capta água de rio com presença de óleo mineral e com elevados picos de turbidez no período chuvoso. Os dados da limpeza química obtidos, pressão transmembrana (TMP), vazão e turbidez são utilizadas pela operação para avaliação da efetividade da limpeza química e da integridade das membranas.

METODOLOGIA

O estudo de caso deste trabalho tem um foco na limpeza química de um sistema de ultrafiltração em ETA. O sistema possui seis trens de membranas UF, totalizando 324 módulos, a ETA produz 300 L/s de permeado com uma recuperação de 93% e está em operação desde dezembro de 2021 (Figura 4).

Figura 4. Trens de ultrafiltração



Fonte: Autor.

A água bruta é captada diretamente do Rio e conduzida até a Estação de Tratamento de Água (ETA), onde é inicialmente direcionada para dois reservatórios de equalização com capacidade aproximada de 75 m³ cada. A partir desses tanques, a água é bombeada para um sistema de pré-tratamento composto por dois filtros autolimpantes de tela, com aberturas de 1,0 mm e 0,3 mm, respectivamente. A água pré-filtrada é então conduzida para as membranas de UF que possuem um sistema CIP e um tanque de aproximadamente 6.000 litros de capacidade.

RESULTADOS OBTIDOS

O Departamento de Água e Esgoto de um município localizado na região central do Brasil opera um sistema de ultrafiltração (UF) pioneiro para captação de água do Rio Cuiabá. A estação é responsável pelo abastecimento de água potável para aproximadamente 120 mil habitantes. No entanto, a presença recorrente de óleo mineral na água bruta resultava em aumento da pressão transmembrana (TMP), redução acelerada da produção de permeado e necessidade frequente de limpezas químicas, até por conta do uso de produtos convencionais (*commodities*).

Após recomendação do fabricante das membranas (DuPont), o cliente recorreu à Kurita para mitigar a contaminação oleosa nas membranas de UF. A análise dos dados operacionais indicou a necessidade de uma abordagem de limpeza mais especializada, considerando o curto intervalo entre ciclos de limpeza CIP (*Clean-In-Place*), a queda acentuada da vazão e o aumento progressivo da TMP. Foi então elaborada uma proposta técnico-comercial para

aplicação da tecnologia Value+ (RoClean™ L211) em um dos seis trens do sistema, com ajustes de pressão e vazão visando otimizar a eficiência do procedimento de limpeza.

Em situações críticas, caracterizadas por queda significativa de desempenho e elevação da TMP, torna-se necessária a realização de uma limpeza CIP intensiva. Os módulos de UF devem ser submetidos à limpeza sempre que um ou mais dos seguintes critérios forem observados após um evento CEB (*Clean-in-Place* com *backwash químico ou em inglês Chemically Enhanced Backwash):*

- Redução de 50% na permeabilidade normalizada;
- Aumento de 1 bar (14,5 psig) na TMP normalizada em relação ao valor inicial;
- Alcance de 2,1 bar (30,5 psig) na TMP operacional.

A frequência da limpeza está diretamente relacionada ao modo de operação, à qualidade da água de alimentação e à estratégia de manutenção adotada. A eficácia da CIP depende das propriedades físico-químicas dos materiais das membranas e dos componentes do módulo, os quais devem ser compatíveis com condições de pH e temperatura elevadas. Fatores como concentração da solução, tempo de contato, temperatura, injeção de ar e condições hidráulicas são determinantes para o sucesso do procedimento e devem ser ajustados conforme a severidade das incrustações e os indicadores de desempenho do sistema.

O monitoramento contínuo do desempenho do sistema de UF é essencial. A postergação da limpeza pode tornar as incrustações irreversíveis, resultando em danos físicos aos módulos e comprometimento da integridade do sistema. Além disso, membranas que não são completamente limpas tendem a apresentar ciclos de incrustação mais curtos, exigindo limpezas mais frequentes.

A eficácia da CIP é maximizada quando o procedimento é personalizado para o tipo específico de incrustação presente. A escolha inadequada de produtos químicos pode agravar o problema. Portanto, é fundamental identificar corretamente o tipo de incrustação antes da execução da CIP, a fim de selecionar a solução e a sequência de limpeza mais adequadas.

Os agentes de limpeza das linhas RoClean™ e AvistaClean™, desenvolvidos pela Kurita, oferecem remoção eficiente e econômica de uma ampla gama de incrustações. Esses produtos apresentam baixa formação de espuma, ampla faixa de pH e compatibilidade com membranas comerciais. Disponíveis nas formas líquida e em pó, são altamente tamponados e formulados com uma combinação exclusiva de surfactantes, dispersantes e quelantes que promovem a desagregação e remoção das incrustações, evitando sua re-deposição.

O produto RoClean™ L211 é um agente de limpeza líquido, multicomponente, com pH elevado, tamponado e de baixa formação de espuma, formulado para a remoção de sílica coloidal, argilas e biofilmes de membranas de UF. É amplamente utilizado em sistemas que operam com água do mar, salobra ou águas residuais. Sua formulação permite aplicações frequentes, sem comprometer a integridade das membranas.

Benefícios operacionais do RoClean™ L211:

- mistura patenteada de dispersantes, surfactantes de baixa espuma e quelantes, eficaz na remoção de materiais orgânicos e partículas coloidais;
- altamente tamponado, garantindo estabilidade do pH durante o processo de limpeza;
- programa de limpeza química implementado foi estrategicamente desenvolvido para equilibrar custo-benefício e restaurar a performance do sistema de forma sustentável.

Na Tabela 01 são apresentadas as recomendações técnicas para uma limpeza química eficiente (do tipo CIP) e na Tabela 02 são descritas as etapas de limpeza com os respectivos tempos de operação para cada etapa.

Tabela 01: Recomendações técnicas para uma limpeza química eficiente

Tabela 01		
CIP	Duração total	Entre 8 e 10 horas
	Vazão e pressão	1,5 m³/h por módulo por skid → 1,5 * 54 = 81 m³/h @ < 3,0 bar
	Agentes de limpeza	RoClean™ L211
	Quantidade por skid com 54 módulos	~ 160 kg - 4%
	Volume do tanque CIP	4000 L
	Faixa de pH	10,5 ± 0,5
	Condutividade	> 5000 µS/cm
	Temperatura	≤ 38ºC

Fonte: Autor.

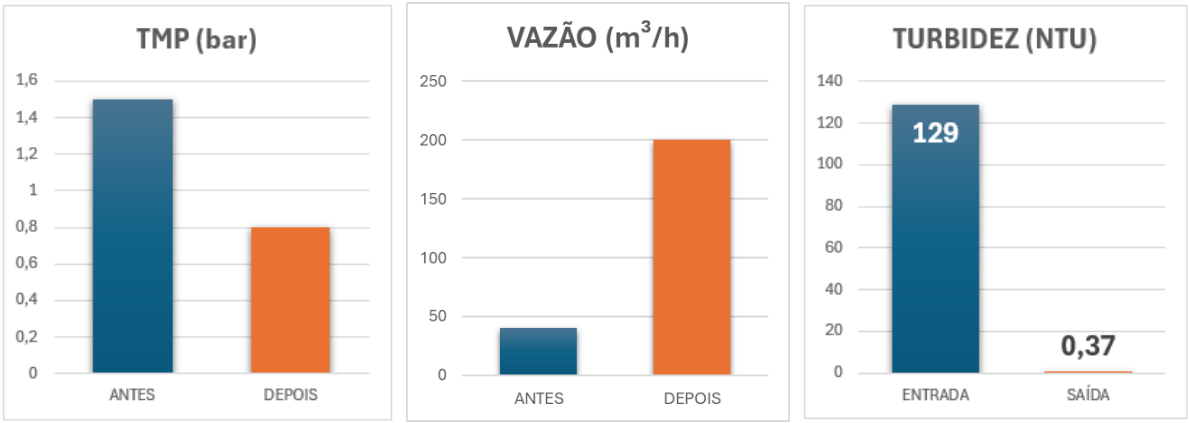
Tabela 02: Resumo das etapas de limpeza química com as respectivas descrições e tempos

Tabela 02		
Etapa	**Descrição**	**Tempo**
1º	Retrolavagem (*backwash*) completa, pré-CIP.	5 minutos
2º	Recirculação inicial da solução de limpeza (*Initial recycle*).	4 horas de recirculação sem interrupções.
3º	Molho da solução de limpeza (*soak*).	2 horas ou pernoite quando possível, com injeção de ar a cada 30 minutos.
4º	Recirculação final da solução de limpeza (*Final Recycle*).	2 horas de recirculação sem interrupções.
5º	Enxágue (*Flush*) com água limpa	30 minutos
6º	Retrolavagem (*backwash*) regular, pós-CIP.	5 minutos

Fonte: Autor.

A implementação da tecnologia Value+ (RoClean L211) demonstrou ser eficaz na limpeza de membranas de UF contaminadas por óleo mineral. O produto possui um conjunto de tensoativos que atuam como emulsificantes, auxiliando na solubilização do óleo e na redução da tensão superficial, o que potencializa a eficiência do processo de limpeza. A colaboração entre Kurita, DuPont e o cliente resultou em um procedimento de limpeza personalizado, proporcionando ganhos significativos na eficiência operacional do sistema. Os resultados incluíram a redução da TMP de 1,50 para 0,80 bar (47%), aumento da taxa de produção de 40 m³/h para 200 m³/h (500%) e eficiência de 99,7% na remoção de turbidez (Figura 5).

Figura 5. Resultados de TMP, vazão e turbidez obtidos antes e depois da limpeza química



Fonte: Autor.

A continuidade do trabalho e a possibilidade de estabelecer um procedimento preventivo de limpezas periódicas indicam um futuro promissor para a manutenção da produtividade e eficiência da planta. A homologação do procedimento como operacional fixo para todos os trens do sistema e a aquisição periódica de produto reforçam o potencial econômico da solução, maximizando a vida útil das membranas. Além disso, o impacto social direto na população da cidade é significativo, uma vez que a ETA desempenha um papel crucial no abastecimento de água para cerca de 30% da população urbana.

Em suma, a adoção da tecnologia Value+ para a limpeza de membranas de UF não apenas resolve um problema crítico de contaminação, mas também abre novas oportunidades para desenvolvimentos futuros no setor, consolidando a Kurita como uma referência em soluções inovadoras e eficientes.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação da tecnologia Value+ (RoClean L211) no sistema de ultrafiltração foi altamente eficaz na mitigação da contaminação por óleo mineral, promovendo significativa recuperação da performance operacional. A redução da pressão transmembrana, o aumento expressivo da vazão de permeado e a elevada eficiência na remoção de turbidez demonstraram a viabilidade técnica e econômica da solução adotada. A padronização da limpeza química, aliada ao monitoramento do sistema, prolongando a vida útil das membranas e assegurando a continuidade do abastecimento de água potável à população atendida.

Adicionalmente, destaca-se que a parceria entre os fabricantes de membranas, como no caso a DuPont, usuários finais (ETAs e ETEs municipais ou industriais) e empresas de tecnologia especializadas em soluções para sistemas de membranas, tal como o Grupo Kurita, é fundamental para garantir que a tecnologia continue evoluindo. Essa colaboração permite enfrentar de forma mais eficiente os desafios operacionais, promovendo inovação, confiabilidade e sustentabilidade nos processos de tratamento de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

2. BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2022. Brasília: MDR, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/snis. Acesso em 20/05/2025.

3. ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Atlas Águas: segurança hídrica para o abastecimento urbano. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/ana. Acesso em: 20/05/2025.

4. BAKER, Richard W. Membrane technology and applications. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-470-85445-6.

5. KURITA WATER INDUSTRIES. *MF-UF Cleaner: AvistaClean Instructions for Use (IFU)*. Versão 07-2025. [S.l.]: Kurita Water Industries, 2025. 38 p. Documento interno.

6. MORDOR INTELLIGENCE. Custom report – Brazil membrane water & wastewater treatment (WWT) market (study period: 2021–2030). [S.l.]: Mordor Intelligence, 2025. 160 p.