

TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO COM ELEVADOS PICOS DE TURBIDEZ POR ULTRAFILTRAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA ETA CRISTO REI – VÁRZEA GRANDE/MT

Fabio Pereira de Carvalho⁽¹⁾

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 portfólio de membranas e resinas de troca iônica.

Bruno Leonel Rossi

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (2013) e Mestrado em Química pela Universidade Federal de Mato Grosso

Dyoni Toshio Trettel Hataqueiama

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (2014)

Ana Luiza Santos Torrilhas

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso

Endereço⁽¹⁾: Av. Sylvio Honório Alvares Penteado, 370, T5 – Alphaville – Barueri- SP, CEP: 06460-025 – Brasil - Tel: +55 (11) 99811-0261-3333 - e-mail: fabio.decarvalho@dupont.com

RESUMO

No cenário atual do saneamento brasileiro, a deterioração das fontes de água superficiais e os padrões de qualidade cada vez mais rigorosos tem levado à busca de tecnologias inovadoras para produção de água potável. As empresas públicas são pioneiras neste sentido, já que o uso de membranas de ultrafiltração vem crescendo rapidamente tanto em termos de capacidade de produção como também em número de unidades em operação. O maior contato no dia a dia da operação permite que o conhecimento da tecnologia seja compartilhado entre as empresas. Desta forma, boas experiências tem sido importantes para um aumento da confiança na aplicação de tecnologias avançadas na produção de água potável. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo demonstrar a viabilidade técnica da aplicação da ultrafiltração em uma estação de tratamento de água alimentada por água de rio, que em períodos de chuvas recebe grande quantidade de sólidos em suspensão. Os resultados demonstram que um projeto de membranas, quando adequadamente dimensionado e preparado para receber picos de turbidez acima de 300 NTU, pode operar sem maiores dificuldades produzindo água filtrada com valores de cerca de 0,05 NTU. Com isso, pode-se considerar que o uso de membranas permite adequação aos diferentes tipos de água bruta encontrados em diversas cidades do Brasil, mantendo qualidade constante e assim tornando uma alternativa a ser considerada em novos projetos de estações de tratamento de água.

PALAVRAS-CHAVE: Membranas de ultrafiltração, potabilidade, água de rio

CONTEÚDO DO TRABALHO

INTRODUÇÃO

A ultrafiltração é um tipo de membrana que fornece separação macromolecular para partículas em suspensão da ordem de microns, além de diferentes patógenos, como bactérias, vírus, algas e protozoários. Os sais dissolvidos e moléculas menores que o poro da membrana não são retidos. É uma tecnologia bastante utilizada em processos de clarificação e potabilização de águas, polimento de esgoto/efluente industrial tratado ou reuso. As membranas mais comuns do mercado são fabricadas tanto na configuração pressurizada (exemplos na figura 1), como na submersa (exemplos na figura 2). O tipo mais comum de membrana de ultrafiltração aplicado nas estações de ultrafiltração brasileiras são do tipo fibra oca, onde a parede interna ou externa serve como barreira física aos contaminantes e patógenos. Existem diferentes tipos de materiais construtivos, sendo os mais comuns os polímeros de *PVDF* (Fluoreto de polivinilideno) e *PES* (Polietersulfona).

O uso de membranas no Brasil não é recente, porém sempre esteve mais relacionado às aplicações industriais, principalmente como etapa de pré-tratamento de unidades de osmose reversa para produção de água desmineralizada para uso em processo ou caldeiras. Contudo, a redução dos custos das membranas e também o extensivo uso da ultrafiltração ao redor do mundo, permitiram a migração para aplicações no saneamento também. Desde as primeiras unidades instaladas na década passada, os projetos com membranas vêm sendo otimizados e ajustados às características locais. Ainda existem algumas barreiras às tecnologias avançadas, principalmente no que se diz respeito aos custos de instalação e operacionais, porém o compartilhamento de boas práticas entre as empresas, aumento da confiabilidade dos sistemas e estudos de casos reais, facilitam a adoção da tecnologia. Estudos brasileiros recentes (SIMÕES, 2016) mostram que os custos operacionais de unidades de ultrafiltração podem ser menores quando comparados com sistemas convencionais, principalmente com uma boa operação e monitoramento – e consequentemente maior vida útil das membranas.

Os desafios no tratamento de águas superficiais com grande variabilidade sazonal faz parte do dia a dia da operação de unidades com captação de água de rio. Neste sentido, o uso de sistemas automatizados de membranas permitem uma resposta mais rápida com ajustes nos parâmetros operacionais em tempo real, sem necessidade de testes em laboratório ou análises externas. Isto permite manter o sistema com pressões operacionais controladas e mantendo a qualidade final constante, independente dos ajustes de ciclos de retrolavagens e limpezas químicas.

Figura 1. Exemplos de membranas de ultrafiltração pressurizadas



Fonte: DuPont

Figura 2. Exemplos de membranas de ultrafiltração submersas



Fonte: DuPont

A portaria atual do Ministério da Saúde que rege a potabilização de água (PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021), diferentemente das anteriores, inclui a tecnologia de membranas como uma das opções tecnológicas de tratamento, diferenciando-a dos tratamentos convencionais de filtração. em termos de padrão de turbidez, como pode ser observado na tabela 1. Os valores indicam claramente que as membranas são capazes de produzir água filtrada de melhor qualidade (0,1 uT - unidades de turbidez) quando comparadas com sistemas de tratamento completo (0,5 uT).

Tabela 1 - Tabela de padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração

Tratamento de água	Valor máximo permitido	Frequência
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras 1,0 uT no restante das amostras mensais coletadas	A cada duas horas
Filtração em membrana	0,1 uT em 99% das amostras	A cada duas horas
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras 2,0 uT no restante das amostras mensais coletadas	Diária
Pós-desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras. 5,0 uT no restante das amostras mensais coletadas	Semanal

Outro ponto importante é que as membranas são fabricadas com certificações internacionais que garantem a compatibilidade em aplicações potáveis, como por exemplo, a norma americana NSF/ANSI 419 que inclui a avaliação de segurança dos materiais segundo a norma NSF/ANSI 61 e adiciona a avaliação da redução de *Cryptosporidium*, usando metodologias de teste e substitutos apropriados para as tecnologias que estão sendo

avaliadas. Além disso, os sistemas de ultrafiltração aplicados em potabilização possuem dispositivos de teste de integridade, de acordo com a norma *USEPA Long Term Enhanced Surface Water Treatment Rule*, que podem identificar rompimento de fibras com tamanho de cerca de 3 microns. Isto permite uma garantia adicional com respeito à remoção de patógenos, que ainda é potencializada com o uso da desinfecção final e tempo de contato adequado.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a performance de um sistema de ultrafiltração instalado em uma estação de tratamento de água que capta água de rio com elevados picos de turbidez no período chuvoso. Os dados operacionais obtidos, principalmente vazões e pressões, são utilizados pela operação e supervisão para tomadas de decisão e otimização da unidade, garantindo assim a integridade das membranas e confiabilidade do tratamento.

METODOLOGIA

O estudo de caso deste trabalho está focado no projeto de ultrafiltração da ETA Cristo Rei, que está instalado na cidade de Várzea Grande, no estado do Mato Grosso. A unidade faz parte do sistema de abastecimento do DAE VG (Departamento de Água e Esgoto de Várzea Grande). O sistema possui capacidade de produção de 300 L/s e está em operação desde dezembro de 2021, atendendo à uma população de cerca de 120 mil habitantes. A água bruta é captada no Rio Cuiabá e é encaminhada para a estação, onde é direcionada para dois tanques de água bruta (conforme figura 3) com capacidade de cerca de 75ca m³ cada. Dos tanques, a água é bombeada para uma sequência de dois filtros autolimpantes de tela, de 1,0 e 0,3 milímetros respectivamente, que são uma barreira de proteção necessária para as membranas de ultrafiltração, principalmente da presença de materiais grosseiros como pedras, folhas e plantas (conforme figura 4).

Figura 3. Tanques de água bruta



Fonte: DAE VG

Figura 4. Pré-filtros autolimpantes de 1 a 0,3 mm



Fonte: DAE VG

A água pré-filtrada então é direcionada para as membranas de ultrafiltração. O sistema é composto por 6 trens (conjuntos de módulos), sendo 5 operacionais e 1 em fora de operação (espera, manutenção, retrolavagem ou limpeza química) (conforme figura 5). Cada trem é composto por 54 módulos (modelo DuPont™ IntegraTec™ XP 77 IP, com 77 m² de área ativa com membranas de fibra oca de PVDF), totalizando 324 módulos instaladas na unidade. Após as membranas a água filtrada recebe adição de hipoclorito de sódio e ácido fluossilícico e finalmente é direcionado aos dois reservatórios de água tratada de 3000 m³ cada, sendo distribuída para a população do Cristo Rei.

Figura 5. Trens de ultrafiltração



Fonte: DAE VG

A ETA também é composta por sistema de retrolavagem das membranas que usa água filtrada e ar proveniente dos sopradores para limpeza física das membranas, além de sistema de limpeza química com hipoclorito de sódio e soda cáustica, para remoção de biofilmes e orgânicos, e ácido cítrico para remoção de inorgânicos e metais como o ferro. Os efluentes gerados nas limpezas são direcionados para o tratamento de lodo em tanques de efluentes sem químicos (conforme figura 6) e neutralização (para os efluentes químicos). A água de enxágue com água bruta das membranas e fração final da retrolavagem, com menor conteúdo de sólidos em suspensão, são retornadas para os tanques de água bruta. Já a fração da retrolavagem com maior quantidade de sólidos é direcionada à um floccodcantador pressurizado, onde o clarificado também retorna à alimentação e a descarga de fundo é direcionada para um sistema de centrífugas para separação sólido-líquido. Com isso as perdas de água no sistema são significativamente reduzidas, além da redução do impacto ambiental do descarte de efluentes líquidos.

Figura 6. Tanque de recebimento de efluentes de retrolavagem sem químicos



Fonte: DAE VG

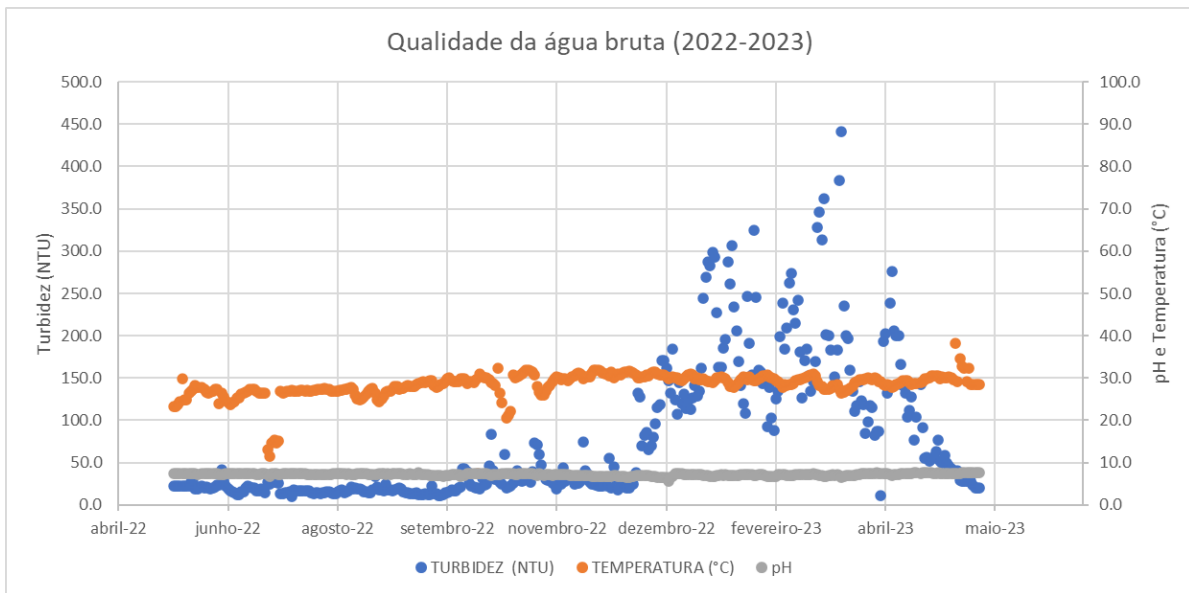
Os dados obtidos em tempo real são turbidez (alimentação e filtrada por trem), pH (bruta e tratada), temperatura de alimentação, vazão (alimentação e tratada) e pressões (alimentação e perdas de carga por cada pré-filtro e trem de ultrafiltração). Os relatórios e gráficos gerados pela automação do sistema permitem acompanhamento e monitoramento da performance e eficiência do processo. Este conjunto de dados é avaliado mensalmente para definição de ações de melhoria contínua da unidade.

RESULTADOS OBTIDOS

A bacia do rio Cuiabá, onde realiza-se a captação de água bruta localiza-se ao sul do estado de Mato Grosso, possui uma área de 72.944 km², sendo que a maior parte da população se concentram nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande (CABRAL et al., 2013). Nesta bacia, o período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a abril (POSSAVATZ et al., 2014), tipicamente quando o rio recebe maior volume de água gerando picos de vazão e sólidos em suspensão (ARRUDA, 2016). Esta característica representa um grande desafio ao tratamento de água que deve suportar tais picos, sem prejuízo à qualidade de água tratada.

Por este motivo, os dados de qualidade de água bruta são monitorados continuamente como forma de controle da unidade de ultrafiltração. Como pode ser observado no gráfico abaixo de maio de 2022 a maio de 2023 (Figura 7), a temperatura e pH variam pouco ao longo dos meses. Contudo, os valores de turbidez, alinhados com o período chuvoso - entre meados de novembro até meados de abril - mostram os picos já esperados pela elevada quantidade de sólidos em suspensão carregados pelo maior fluxo de água do rio. Os valores mínimos, médios e máximo são apresentados na tabela 2.

Figura 7. Valores de pH, temperatura e turbidez da água bruta entre maio de 2022 a maio de 2023



Fonte: Autor

Importante mencionar que independente dos valores de turbidez de água bruta, a turbidez da água filtrada é mantida abaixo de 0,1 NTU, já que a membrana é uma barreira física (neste caso com poros nominais de 30 nanômetros). Os valores medidos em turbidímetro de bancada a laser indicam valores de água filtrada na faixa de 0,03 a 0,06 NTU, atendendo integralmente o valor máximo permitido na portaria. Já o pH não é alterado significativamente, já que não há nenhuma dosagem de produto químico na alimentação, mantendo o pH da água filtrada similar à alimentação.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios e máximos de temperatura, turbidez e pH

	Turbidez (NTU)	Temperatura (°C)	pH
Mínima	10,1	7,4	5,6
Média	76,7	28,3	7,2
Máxima	441,0	38,1	7,7

Outros dados importantes no monitoramento de um sistema de ultrafiltração são as vazões e pressões de trabalho. Em um sistema de membranas pressurizado, a pressão de alimentação aumenta conforme o maior entupimento das membranas. Para manter a vazão do sistema constante, as bombas possuem inversores de frequência que ajustam a rotação para evitar grandes variações. Desta forma o sistema trabalha com pressões variáveis, que dependem principalmente de fatores como temperatura e aumento da perda de carga (consequência do entupimento gradual da membrana). A fim de evitar o entupimento irreversível da membrana, o sistema possui procedimentos de retrolavagens e limpezas químicas que mantém a membrana limpa e com maior permeabilidade.

No projeto da ETA Cristo Rei, os seguintes parâmetros de projeto foram definidos para suportar picos de turbidez:

- Ciclo de filtração (filtração direta *dead-end* com 100% de recuperação) com duração de 37 minutos;
- Fluxo operacional com 5 trens em operação de 55 LMH (L/m²/h);
- Retrolavagem com as seguintes etapas:

- Lavagem com ar soprado por cerca de 60 segundos;
- Drenagem dos sólidos removidos pela aeração por 30 segundos (por gravidade);
- Retrolavagem da parte superior do módulo com água filtrada por 30 segundos;
- Retrolavagem da parte inferior do módulo com água filtrada por 29 segundos;
- Enxágue com água bruta pré-filtrada por 55 segundos
- Limpeza química em linha CEB (*Chemically Enhanced Backwash*):
 - Oxidante com hipoclorito de sódio (450 mg/L) a cada 24 horas;
 - Ácida com ácido cítrico (5000 mg/L ou pH menor que 3,5) a cada 36 horas
- Limpeza química de recuperação CIP (*Clean in place*):
 - Alcalina/oxidante com soda cáustica (pH 12) e hipoclorito de sódio (2000 mg/L)
 - Ácida com ácido cítrico (20000 mg/L ou pH próxima a 2,5)
- Recuperação mínima do sistema de ultrafiltração de 93%
- Recuperação global com tratamento de lodo e recuperação de água de retrolavagens acima de 98%

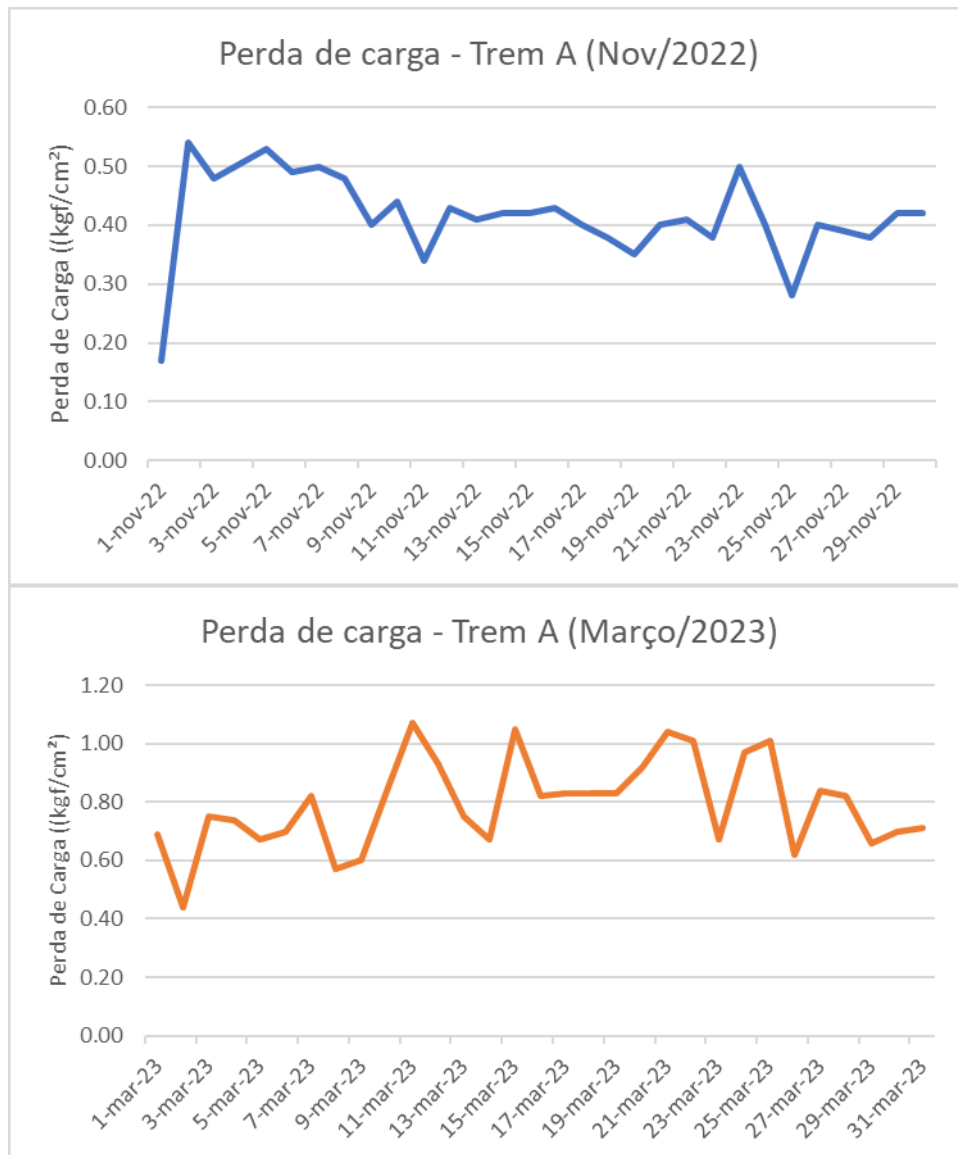
Através da análise de dados operacionais dos trens de membranas foi possível identificar melhorias no processo, principalmente devido às variações de qualidade da água bruta. Uma das principais ações de melhoria foi o aumento da etapa de aeração para remoção de sólidos da superfície externa da fibra oca (que trabalha no sentido de fora para dentro – tipo mais comum para altos teores de sólidos) que deu uma maior estabilidade da perda de carga no sistema (limitada à 2,1 bar medido entre entrada e saída dos módulos). Esta melhora na eficiência permitiu que os ciclos de filtração fossem aumentados, diminuindo as perdas de água no sistema.

Nos períodos mais críticos foi observado que aumento dos ciclos de filtração e diminuição das frequências de limpezas químicas não são viáveis, pois levam a um aumento mais acentuado das perdas de carga. O sistema possui proteções contra pressões elevadas e desta forma desarmes frequentes do sistema são indesejados. A experiência ganha no dia a dia da operação é crucial para que as intervenções nos parâmetros operacionais da unidade sejam cada mais assertivos.

Um exemplo onde pode ser observado este fenômeno (conforme figura 8) está na análise dos dados da perda de carga do trem “MUF A” (6 trens nomeados de MUF A até MUF F) em dois períodos diferentes (seco e chuvoso):

- Novembro de 2022
 - Turbidez de entrada média de 33,2 NTU
 - Perda de carga média de 0,41 kgf/cm²
- Março de 2023
 - Turbidez de entrada média de 197,5 NTU
 - Perda de carga média de 0,79 kgf/cm²

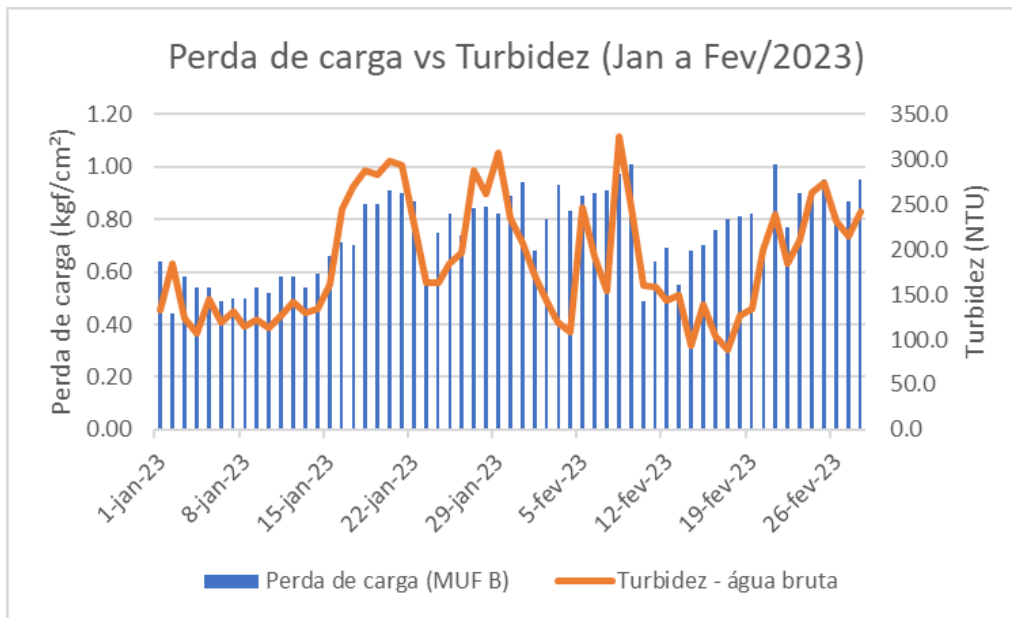
Figura 8. Perdas de carga no período seco e chuvoso



Fonte: Autor

Outro exemplo interessante ocorre quando comparamos diretamente a variação da turbidez da água bruta com as perdas de carga de um trem, neste caso o “MUF B” (conforme figura 9). Fica claro a que ambos os parâmetros estão interligados e que o sistema de membranas tem respondido bem, sem alterações bruscas no processo.

Figura 9. Comparação das perdas de carga e turbidez no período de janeiro a fevereiro de 2023



Fonte: Autor

Quando o sistema é desenhado para operar com uma vazão constante, o consumo energético do sistema é influenciado diretamente pela perda de carga das membranas como também dos pré-filtros. A escolha da pré-filtração é importante não somente para proteção e garantia da integridade das membranas, como também na questão operacional. Idealmente estes filtros devem possuir sistema de limpeza automática e que suporte altas concentrações de sólidos em suspensão. O mesmo efeito da variação da perda de carga nos filtros foi observado no filtros de 1,0 mm nos dois períodos comparados anteriormente:

- Novembro de 2022
 - Turbidez de entrada média de 33,2 NTU
 - Perda de carga média de 0,29 kgf/cm²
- Março de 2023
 - Turbidez de entrada média de 197,5 NTU
 - Perda de carga média de 0,48 kgf/cm²

Um sistema hidráulicamente bem projetado e com procedimentos de limpezas padronizados permitem que diferentes trens de membranas tenham uma performance média similar, já que estão sendo alimentados pela mesma qualidade de água bruta (exemplo abaixo na figura 10 e tabela 3). Essa uniformidade permite que as membranas não sofram um desgaste irregular, tornando a operação mais simples, já que todos os parâmetros operacionais podem ser replicados para todos os trens, sem diferenciação.

Figura 10. Comparação das perdas de carga em todos os trens

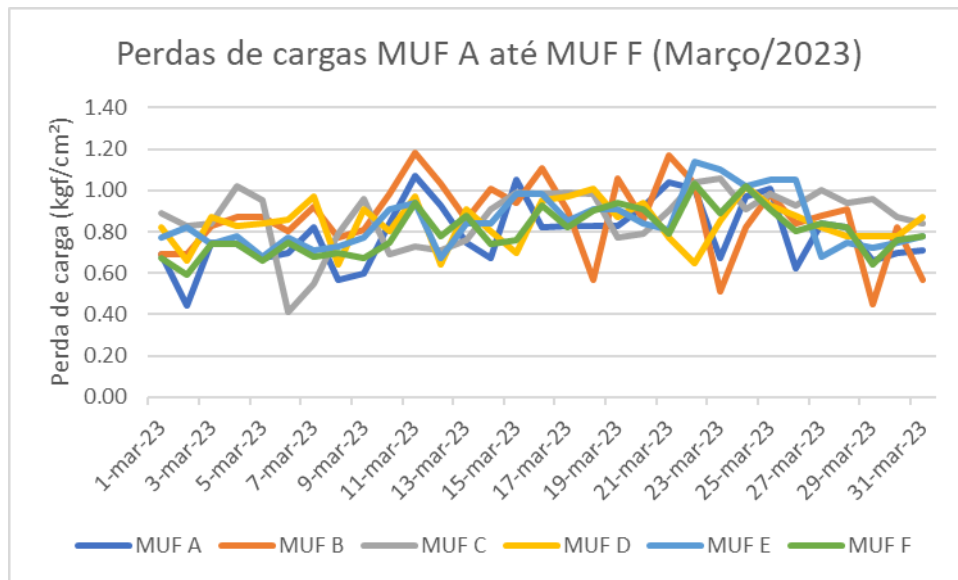


Tabela 3 – Valores mínimos, médios e máximos (março/2023) de perdas de carga em todos os trens

Valores	Perdas de carga (kgf/cm ²)					
	MUF A	MUF B	MUF C	MUF D	MUF E	MUF F
Mínima	0,44	0,45	0,41	0,64	0,67	0,59
Média	0,78	0,85	0,86	0,84	0,84	0,79
Máxima	1,07	1,18	1,06	1,02	1,14	1,03

CONCLUSÕES

A estação de tratamento de água Cristo Rei em Várzea Grande, uma das unidades de membranas com maior variação de qualidade de água bruta no Brasil, demonstrou que, com um projeto bem dimensionado e uma operação e monitoramento excelentes, é possível usar a ultrafiltração como uma tecnologia viável e confiável para produção de água potável. A inovação no tratamento de água é chave para que as tecnologias continuem sendo implementadas no Brasil, permitindo que toda a população tenha acesso à água potável em quantidade e qualidade excelentes. Este projeto, em contínua melhoria e otimização, será mais uma importante referência no saneamento brasileiro quando o assunto são membranas e inovação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SIMÕES, C.P.P. Avaliação operacional e remoção de bisfenol-A no tratamento de água por diferentes tipos de membranas: avaliação em escala piloto. 184p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília., 2016
2. CABRAL, T. L.; CABRAL, I. L. L.; ZEILHOFER, P. Inferência sobre a demanda d'água na bacia do rio Cuiabá-MT em relação à produção de soja, milho e a pecuária. Cuiabá: RMGE – Revista Mato-Grossense de Geografia, P. 106-123, jan/jun 2013.
3. POSSAVATZ, J.; ZEILHOFER, P.; PINTO, A. A.; TIVES, A. L.; DORES, E. F. G. C. Resíduos de pesticidas em sedimento de fundo de rio na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso. V. 9. N. 1. Taubaté: Rev. Ambient. Água, Jan./Mar., 2014.
4. ARRUDA, J. L. Avaliação da qualidade de água do Rio Cuiabá no perímetro urbano da capital mato-grossense Cuiabá/MT, Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá – UNIC)., 2016.