

I-074 - PROPOSIÇÕES PARA OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO DA UNIDADE DE DESMINERALIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA DA REFINARIA LANDULPHO ALVES DA PETROBRAS

Thais Matos Resende⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Salvador (UNIFACS). Ex-estagiária da Petrobras.

Dyego Martins Costa⁽²⁾

Acadêmico de Engenharia Química do Instituto Federal da Bahia (IFBA). Estagiário da Petrobras.

Pedro Henrique Neri de Menezes⁽³⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestrando em Engenharia Industrial pela UFBA.

Albérico Ricardo Passos da Motta⁽⁴⁾

Engenheiro Civil e Engenheiro Sanitarista pela UFBA. Mestre em Engenharia Ambiental pela University of Newcastle. Doutor em Engenharia Industrial pela UFBA. Engenheiro de Meio Ambiente da Petrobras.

Carla Pereira de Barros Santos⁽⁵⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Técnica de Operação da Refinaria Landulpho Alves de Mataripe, Petrobras.

Endereço⁽¹⁾: Rua juiz Rosalvo Torres, 155. Edifício Beta – Chame chame - Salvador – BA. CEP: 40110-150 - Brasil - Tel: (71) 99292-2908 - e-mail: thaisresende28@hotmail.com

RESUMO

A produção de água desmineralizada da Refinaria de Landulpho Alves (RLAM) é realizada em duas unidades, U 84-A e U 84-B. O processo é realizado em duas etapas, pré-tratamento e desmineralização propriamente dita. A primeira consiste em três sistemas de filtração que operam em série: filtros de areia (remoção de sólidos em suspensão), filtros de carvão (remoção de cloro residual) e filtros de cartucho (remoção de sólidos de até 4,5 µm). A segunda etapa é realizada através do processo de osmose inversa (OI). O objetivo deste artigo é apresentar uma avaliação do desempenho operacional da etapa de pré-tratamento da U 84-B, juntamente com proposições para superar não-conformidades identificadas, visando aprimorar o processo de produção de água desmineralizada. Os resultados mostraram vários aspectos relevantes. Em relação ao fluxo de alimentação da unidade, houve uma sobrecarga nos filtros “F” e “G”, problema ocorrida pelo fato do filtro “E” estar fora de operação. Com relação à qualidade da água, observou-se que os resultados das análises de turbidez na saída dos filtros de areia variaram entre 0,2 a 0,3 NTU, correspondendo a valores bem abaixo do limite necessário para alimentar o processo de OI (1,0 NTU). O teor de cloro residual na água de alimentação variou de 0,4 a 1,6 mg / L, enquanto na saída dos filtros de cartucho o seu valor máximo encontrado foi de 0,04 mg / L, correspondendo também a valores abaixo do recomendado para alimentar a OI (0,1 mg / L). Em relação ao pH, os valores encontrados na saída dos filtros de cartucho permaneceram dentro da faixa de alimentação recomendada para o processo de OI (3 a 10). Uma exceção ocorreu em maio de 2016, quando o valor encontrado foi 12. Quanto à remoção do SDI, verificou-se que a eficiência de remoção deste parâmetro foi praticamente inexpressiva, apresentando um valor médio em torno de 3%, para o período analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Membranas, Água, Osmose Inversa, Desmineralização.

INTRODUÇÃO

A produção de água desmineralizada da Refinaria Landulpho Alves (RLAM) é realizada em duas unidades, a U 84-A e a U 84-B. Ambas as Unidades são alimentadas com água filtrada produzida na Unidade 52-A, uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional localizada na própria RLAM. Ao sair dessa ETA, a água fica armazenada em um reservatório de água filtrada.

Em ambas as unidades de desmineralização, o processo de produção de água desmineralizada é realizado através de duas etapas. A primeira se constitui de processos utilizados para realização de um pré-tratamento da água filtrada recebida da unidade 52-A. O pré-tratamento tem o objetivo de conferir à água a qualidade

mínima requerida para alimentar a segunda etapa do processo: a de Osmose Inversa (OI), responsável pela desmineralização propriamente dita.

O pré-tratamento, que será objeto deste trabalho, visa, assim, diminuir a ocorrência de problemas operacionais da etapa da OI, como *fouling*, *scaling* e degradação do material que compõe as membranas.

O controle da qualidade da água ao longo da primeira etapa do processo é feito através do monitoramento dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, alumínio total, turbidez, cloro livre, ferro total e SDI (Índice de Densidade de Sedimentos).

A Tabela 1 ilustra os parâmetros críticos utilizados para o controle da qualidade da água de alimentação da OI, segundo o seu fabricante, Hydranautics.

Tabela 1: Valores requeridos dos parâmetros físico-químicos críticos para OI. Fonte Hydranautics [200-?], modificado.

PARÂMETRO	VALOR MÁXIMO PERMITIDO	UNIDADE
Turbidez	1	NTU
SDI ¹	5	-
Cloro livre	< 0,1	mg/L
pH	3 - 10	-

Este trabalho contempla a análise da etapa de pré-tratamento da U 84-B. Essa Unidade é composta por três sistemas de filtração, cada um com três filtros, que operam em série, como se segue: um sistema de filtração por filtros de areia, um sistema de filtração por filtros de carvão ativado e um sistema de filtração por filtros de cartucho.

O sistema de filtração por filtros de areia tem como objetivo a remoção de sólidos suspensos residuais presentes na água de alimentação, constituída por água filtrada produzida em uma planta de tratamento de água convencional. Já o sistema de filtração por filtros de carvão ativado tem como objetivo adsorver cloro livre presente. O sistema de filtração por filtros de cartucho tem como objetivo remover partículas sólidas remanescentes do primeiro sistema de filtração e que possuam dimensões de, até, 4,5 µm. Esses sistemas estão descritos a seguir.

As figuras 1 e 2, a seguir, apresentam o croquis da etapa de pré-tratamento da U 84-B e o fluxograma simplificado dessa unidade com destaque para a dosagem de produtos químicos.

¹ SDI é o *silt density index* ou índice de densidade de sedimentos. Esse parâmetro é utilizado para avaliar a probabilidade de ocorrência de *fouling* na membrana de OI. Fonte: Baker (2004).

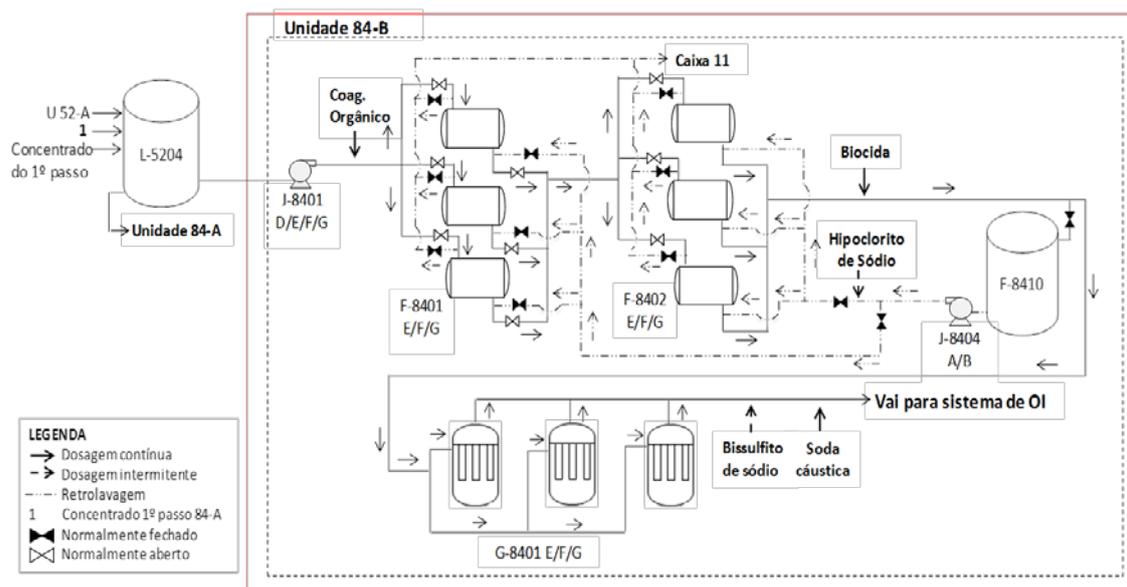


Figura 1: Croquis da etapa de pré-tratamento da U 84-B

Ao longo desses três sistemas são dosados produtos químicos, com finalidade de contribuir com a eficiência do processo. Esses produtos são: polieletrólito orgânico, biocida, bissulfito de sódio, anti-incrustante e soda cáustica. O polieletrólito é usado como agente coagulante e é dosado à montante do sistema de filtros de areia. A dosagem de biocida ocorre à jusante dos filtros de carvão ativado. O bissulfito de sódio e a soda cáustica são dosados à jusante dos filtros de cartucho. Sobre o anti-incrustante, esse produto é dosado à montante do sistema de osmose inversa. Os pontos de dosagem dos citados produtos químicos, estão citados na figura 2.

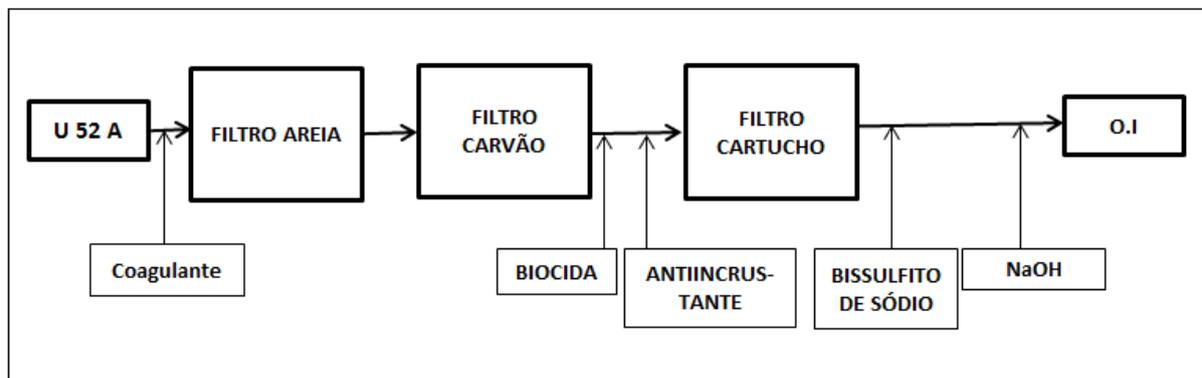


Figura 2: Fluxograma simplificado da etapa de pré-tratamento da U 84-B.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a realização desse estudo foi baseada na realização de visitas periódicas à U 84-B. As visitas foram acompanhadas pelos seus operadores de processo e tiveram diversos objetivos, como:

- Entendimento do processo operacional;
- Levantamento de dados operacionais;
- Levantamento de documentação técnica de projeto, como plantas, memoriais descritivos, folhas de dados, fluxogramas de engenharia e fluxogramas de processos e manuais de operação;
- Identificação de possíveis problemas operacionais.

Entre os dados levantados estão de qualidade de água, fornecidos no período de janeiro de 2015 até julho de 2016. Na prática, esses dados são obtidos a partir da realização de um plano de monitoramento utilizado para controle operacional. Nos períodos em que são feitas, as análises acontecem duas vezes por dia e seus resultados são reunidos em uma tabela de controle da indústria, no aplicativo *Microsoft Office Excel*. Nessa tabela são calculadas as médias mensais, além dos valores máximo e mínimo. É importante destacar que neste estudo analisaram-se as médias mensais dos valores diários registrados para a Unidade.

Os dados de vazão foram obtidos *online*. Nas instalações da unidade, a medição desse parâmetro operacional é realizada através de medidores eletromagnéticos de vazão. Esses dados são, então, transmitidos, armazenados e gerenciados no *software* *PI ProcessBook* utilizado na indústria. Foram adquiridos dados de vazão no período de dezembro de 2015 até outubro de 2016.

Para análise dos dados de qualidade de água e dos dados operacionais de vazão do sistema do pré-tratamento da U 84-B, foram construídos gráficos onde os esses dados foram comparados como se segue:

- Dados de vazão (vazão obtidos através do PI): comparados com os valores de projeto da unidade;
- Dados de qualidade de água (obtidos através das análises): comparados com os valores-limites recomendados pelo fabricante das membranas, citados na tabela 1. Além disso, esses valores foram comparados com os recomendados pela literatura e por fabricantes.

RESULTADOS

Os resultados foram atingidos com base na avaliação dos valores de vazão e de parâmetros de qualidade físico-químicos.

Os valores das vazões de operação e de projeto dos filtros de areia da etapa de pré-tratamento da U 84-B estão apresentados na figura 3.

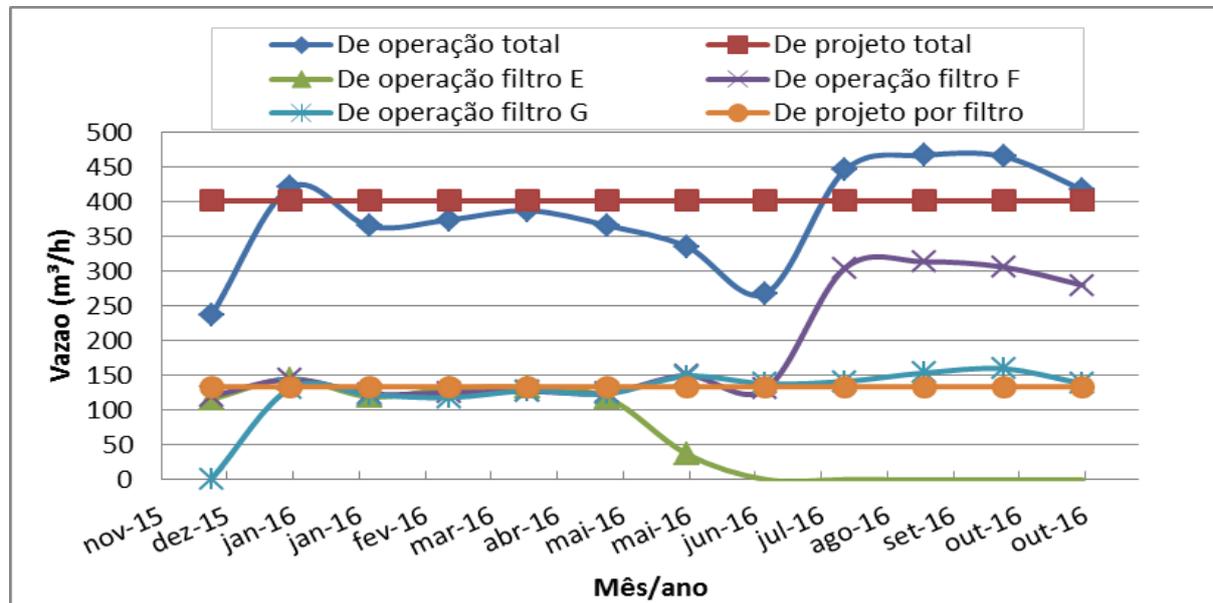


Figura 3: vazões de operação e projeto do sistema de filtros de areia

Como pode ser visto na figura, há uma variação constante da vazão total de operação, que oscila entre valores ora abaixo e ora acima da vazão de projeto.

Outros aspectos relevantes, observados no período de junho até dezembro de 2016, foram os seguintes:

- O filtro “E” esteve fora de operação e a vazão de alimentação da unidade não foi reduzida de forma proporcional a esse fato;

- A vazão total de alimentação da etapa de pré-tratamento esteve acima da vazão total prevista em projeto;
- A vazão de alimentação de cada um dos dois filtros em operação restantes (F e G) foi distribuída de forma desigual, de modo a sobrecarregar um deles (filtro F), que operou com uma vazão acima do previsto em projeto por filtro (134 m³/h). Esse fato, aliado aos dois anteriormente citados, fez com que a vazão de alimentação do filtro “F” chegasse, no período de agosto e setembro de 2016, valores maiores que 300 m³/h, ou seja, valores consideravelmente elevados, quando comparados com a vazão de projeto por filtro.

Os parâmetros físico-químicos avaliados foram turbidez, cloro, pH e SDI. O período considerado neste trabalho foi de janeiro de 2015 até julho de 2016.

Em relação à turbidez, a figura 4 mostra os resultados das análises desse parâmetro nos seguintes pontos: entrada do filtro de areia, saída do filtro de areia, saída do filtro de carvão e saída do filtro de cartucho. Além disso, são mostrados o valor limite requerido para que a água seja utilizada pela OI e dois valores da eficiência de remoção de turbidez, um para os filtros de areia e outro para a etapa de pré-tratamento completa (eficiência total).

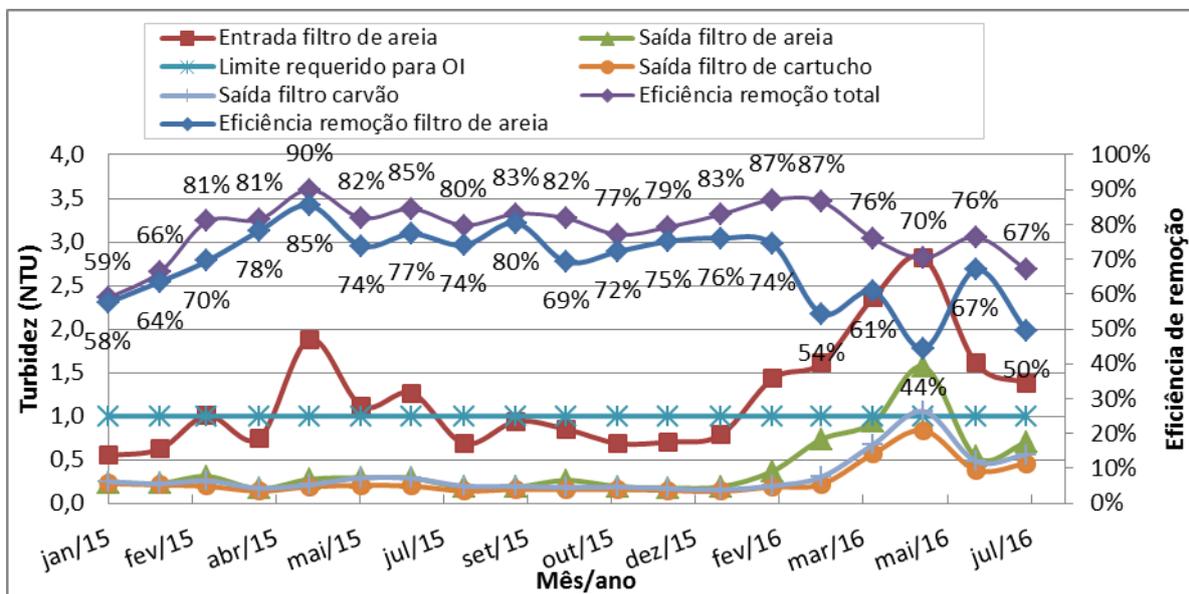


Figura 4 – Resultados das análises de turbidez

Pode-se observar que, a exceção do mês de maio de 2016, após a passagem da água pelos filtros de areia, a turbidez apresentou valores oscilando entre 0,2 a 0,3 NTU, ou seja, valores muito baixos, quando comparados com os do limite requerido para alimentação do sistema de OI (1,0 NTU).

Em relação ao mês de maio de 2016 observou-se que valor de turbidez encontrado (1,6 NTU) não foi enquadrado no limite requerido para a alimentação da OI pelos filtros de areia. Observou-se ainda que o valor de eficiência de remoção de turbidez dos filtros de areia foi de apenas 44%, ou seja, o menor valor em todo o período analisado. A possível causa desse problema foi o valor de turbidez elevado da água de alimentação dos filtros, que atingiu o pico de todo o período analisado (2,8 NTU). Esse elevado valor de turbidez na alimentação do sistema de filtração pode ter sido a razão pela qual o valor desse parâmetro não foi enquadrado (1,6 NTU).

Apesar disso, observa-se a influência dos filtros de carvão e cartucho na contribuição da remoção da turbidez. Essa influência se verifica, nos casos em que a turbidez apresentou valores que se distanciaram mais dos usualmente encontrados (0,2 a 0,3 NTU), como ocorreu no período de fevereiro a julho de 2016. Observou-se que, nesses casos, os filtros de carvão atuam como um sistema de filtração de sólidos adicional, contribuindo, assim, para elevação da eficiência de remoção de turbidez e possibilitando o enquadramento da água dentro do

limite requerido apresentou valores que se distanciaram mais dos usualmente encontrados (0,2 a 0,3 NTU), como ocorreu no período de fevereiro a julho de 2016.

Em relação ao cloro residual, a figura 5 mostra os resultados das análises desse parâmetro nos seguintes pontos: água decantada (proveniente da U 52-A), entrada do filtro de areia, entrada do filtro cartucho e o valor limite requerido para que a água seja utilizada pela OI.

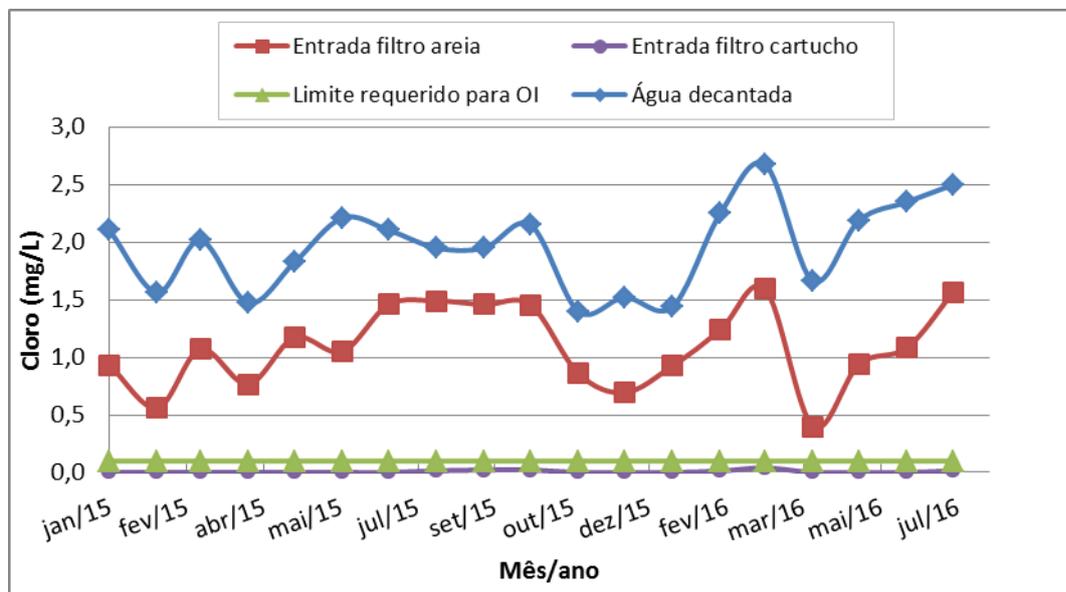


Figura 5– Resultados das análises de cloro

Observa-se que os valores de cloro encontrados na água decantada são relativamente elevados. Esse cloro é proveniente do processo de oxidação da matéria orgânica realizado na 52-A. Observa-se ainda que apesar da redução causada pelo consumo desse produto químico ao longo do percurso entre a 52-A e a 84-B, os valores de cloro na entrada da etapa de pré-tratamento (entrada do filtro de areia) são ainda relativamente elevados, quando comparados com os valores limites requeridos para a etapa de OI (0,1 mg/L), podendo atingir a até 1,5 mg/L. Esse fato dá um indicativo de que o consumo desse produto químico pode ser otimizado. Como o cloro na saída dessa etapa tem que ser removido, para não causar danos ao elemento filtrante dos filtros cartuchos e às membranas de OI, quanto menor o teor desse produto que chega na entrada dessa etapa melhor.

Desta forma, é recomendável que os valores de cloro residual considerem a concentração requerida para consumo desse produto ao longo do percurso entre a 52-A e a 84-B, mas que cheguem a entrada dos filtros de areia com valores mínimos, próximos de zero. Além da economia a ser atingida com o consumo de cloro, ter-se-á também a economia com o consumo do agente desclorador, o metabissulfito de sódio.

Com relação à eficiência do processo em termos de remoção de cloro, observa-se que a mesma foi atingida, ao longo de todo o período analisado. Nesse período a água de alimentação da etapa de pré-tratamento apresentou teores médios de cloro livre que variaram de 1,6 a 0,4 mg/L, enquanto que, na saída dos filtros de cartucho, o teor máximo encontrado foi de 0,04 mg/L, que é muito inferior ao recomendado para a etapa de OI (0,1 mg/L), o que comprova a eficiência dos filtros de carvão juntamente com o agente desclorador.

Apesar dessa boa eficiência, um aspecto a ser considerado e avaliado na operação atual. Esse aspecto está relacionado com o possível consumo de cloro pelo agente coagulante dosado na alimentação da etapa de pré-tratamento, ou seja, um polieletrólito orgânico, cuja função do polieletrólito é atuar como auxiliar na coagulação do processo de filtração em areia. Esse aspecto dá um indicativo de que esses produtos químicos podem ser otimizados, tanto do cloro quanto do polieletrólito. Para sua verificação e confirmação, recomenda-se o monitoramento de cloro na saída dos filtros de areia (e entrada dos filtros de carvão).

Diante desse fato, caso esse aspecto se confirme, recomenda-se que seja pausada a dosagem de polieletrólito orgânico, por um determinado período, em seguida analisar a qualidade da água e verificar a necessidade ou não da dosagem de polieletrólito na etapa de pré-tratamento.

Em relação ao parâmetro pH, a figura 6 mostra os resultados das análises desse parâmetro na saída do filtro de cartucho.

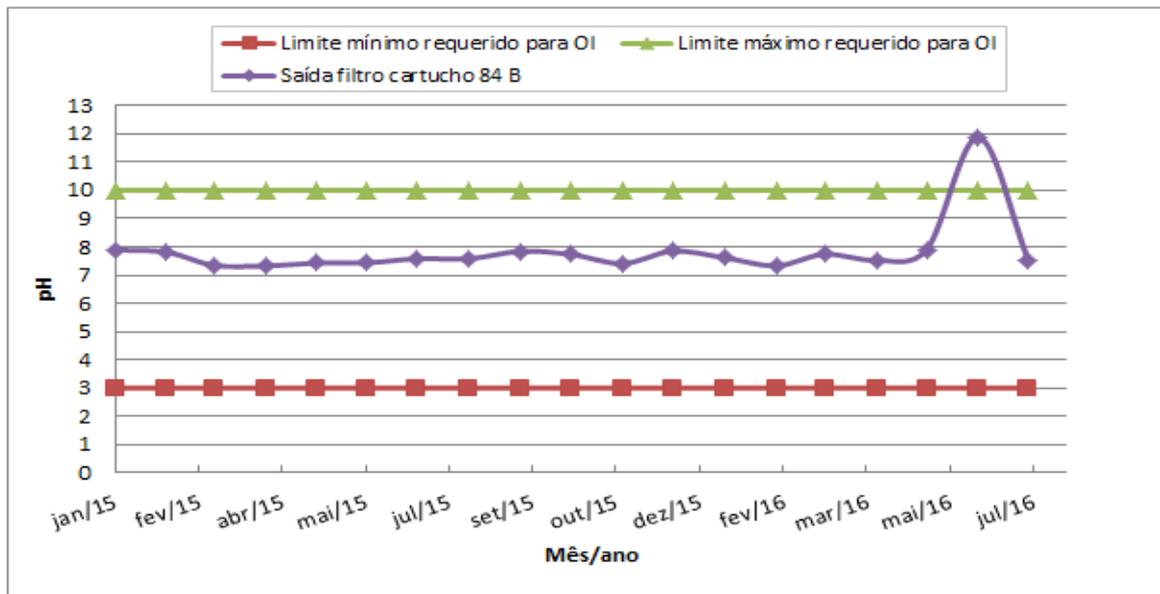


Figura 6 – Resultados das análises de pH

Observa-se que, durante todo o período analisado, o pH da água na saída dos filtros cartuchos permanece dentro do intervalo recomendado para a alimentação do sistema de Osmose Inversa, a exceção do mês de maio de 2016, onde o pH apresentou um valor de 12. Baseado nesses dados pode-se afirmar que este parâmetro não apresenta uma ameaça para a vida útil das membranas de OI.

Em relação ao parâmetro SDI, a figura 7 mostra os resultados das análises desse parâmetro nos seguintes pontos: entrada e saída dos filtros de cartucho.

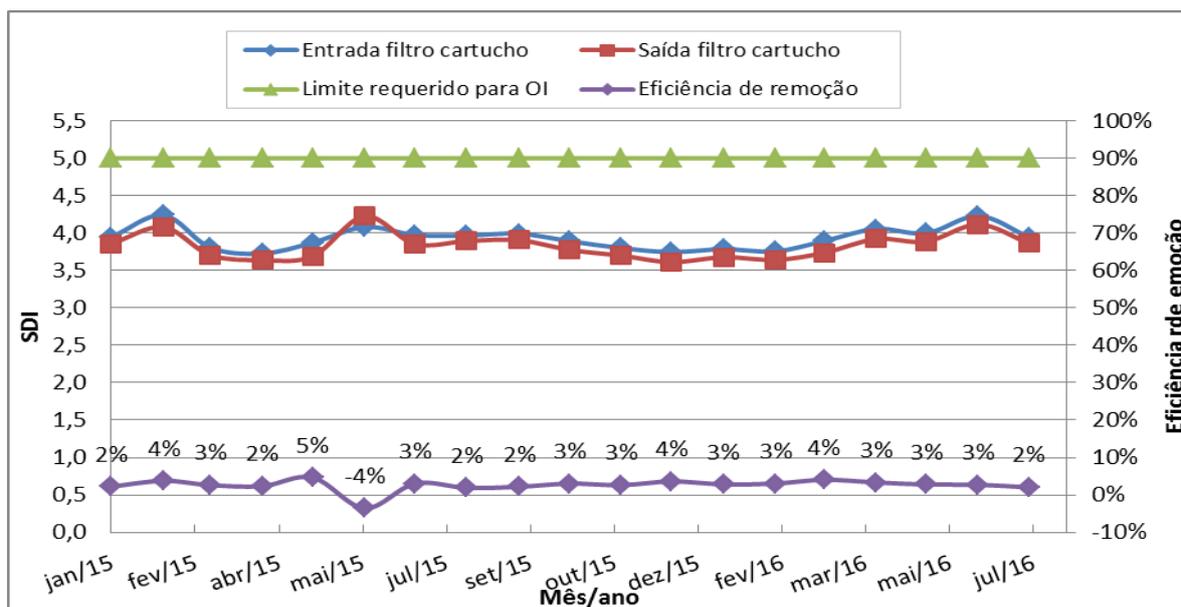


Figura 7 – Resultados das análises do SDI

Sobre o parâmetro SDI, pode-se perceber que não há uma expressiva eficiência de remoção desse parâmetro nos filtros de cartucho; para todo o período analisado, a média de remoção foi de apenas 3%. Sobre esse valor-limite, a Dow Chemical Company [200-] recomenda que as membranas de OI toleram valores de SDI de até 5. Como para o período analisado os valores de SDI medidos estiveram entre 3,6 e 4,2, esse parâmetro se encontraria enquadrado. Entretanto, para Baker (2004), valores de SDI acima de 3, como ocorre na planta, podem causar sérios problemas operacionais às membranas de OI, além de ser recomendada a realização de limpezas químicas periódicas.

Os problemas operacionais citados podem estar sendo identificados na planta, visto que, segundo operadores, a periodicidade de limpeza química das membranas de OI diminuiu em três quartos do tempo. As limpezas, que deviam ocorrer de quatro em quatro meses, ocorrem agora, de mês em mês. Esse fato pode estar ocorrendo devido a problemas de *fouling* precoce das membranas de OI pelos altos valores de SDI.

CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, após análises realizadas a partir dos resultados de qualidade de água, que houve uma diminuição da eficiência de remoção de turbidez para o sistema de filtros de areia (período que vai de março a julho de 2016). Entretanto, devido à atuação dos sistemas de filtro de carvão e cartucho, foi observada uma atuação complementar na remoção desse parâmetro, principalmente no período onde o sistema de filtros de areia não foi efetivo na remoção (maio de 2016). Dessa maneira, durante todo o período analisado, houve uma remoção efetiva do parâmetro turbidez na unidade de pré-tratamento U 84-B.

Sobre a utilização do polieletrólito não-iônico orgânico, verificou-se que, possivelmente, esse produto está sendo consumido pelo cloro presente na água de alimentação, o que indica a necessidade de se otimizar o consumo desses compostos.

Além disso, devido ao consumo dos teores de cloro livre estar acontecendo no sistema de filtro de areia, pode-se concluir que o sistema de filtração com filtros de carvão ativado não opera conforme projeto, visto que não ocorre a adsorção de cloro livre pelo sistema de filtros de carvão. Observa-se, entretanto, que apesar de não operar conforme projeto, esse sistema contribuiu de forma significativa para a redução dos valores de turbidez.

Em relação à operação do sistema de filtros de areia da U 84-B, conclui-se que é necessário haver um maior controle operacional desse sistema. A sobrecarga da unidade que ocorreu desde o período de julho a outubro de 2016 provocou uma sobrecarga de um dos filtros do sistema. Tendo em vista que a operação do sistema

sobrecarregado interfere negativamente na qualidade da água produzida, esse filtro sobrecarregado pode estar produzindo água com valores de turbidez acima do requerido pelas membranas de OI.

Além disso, pode-se também concluir que há uma possível interferência dos altos valores de SDI no tempo de campanha das membranas do sistema de OI. Devido a isso, a operação de limpeza química teve sua periodicidade diminuída em três quartos do tempo entre uma e outra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAKER, Richard W.. Overview of membrane science and technology. In: BAKER, Richard W.. Membrane technology and applications. 2. ed. England: Wiley, 2004. p. 1-14
2. BAKER, Richard W.. Reverse osmosis. In: BAKER, Richard W.. Membrane technology and applications. 2. ed. England: Wiley, 2004. p. 191-232.
3. DOW CHEMICAL COMPANY. FILMTEC Reverse Osmose Membranes – Technical Manual. [200-?]. 182 p.
4. HYDRANAUTICS – Membrana de Osmose Reversa LFC3-LD. [200-?]. 1p.