



BIORREATOR A MEMBRANA APLICADO AO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO SOB CONDIÇÕES DE AERAÇÃO INTERMITENTE VISANDO A REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

Patrícia Hüther Zambão⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Sanitária

André Aguiar Battistelli

Mestre em Engenharia Ambiental

Flávio Rubens Lapolli

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento

Endereço⁽¹⁾: Rodovia SC 150, - Bairro Parque Jardim Ouro - Ouro – Santa Catarina - CEP: 89663-000 - Brasil - Tel: +55 (49) 3555-3496 - e-mail: patriciahzambao@gmail.com.

RESUMO

O Biorreator a Membrana (BRM) está associado ao tratamento biológico do efluente seguido de um processo de separação física. O objetivo da pesquisa consiste na avaliação de um pós-tratamento com BRM modalidade aeração intermitente em escala piloto operando em fluxo contínuo, quanto à remoção de matéria carbonácea e os aspectos relacionados ao monitoramento da colmatação na membrana. A operação do sistema piloto ocorreu no município de Capinzal-SC, em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) municipal, operado pelo Serviço Intermunicipal de Tratamento de Água e Esgoto – SIMAE. O período de coleta de dados totalizou 140 dias, entre os meses de novembro/2017 e abril/2018. As eficiências de remoção de DQO, turbidez e cor, foram de 87, 99,9 e 44%, respectivamente. Com relação ao monitoramento da colmatação, devido ao reduzido nível de oxigênio dissolvido e intermitência na aeração foram necessárias dez limpezas químicas ao longo de período estudado. Conclui-se que o sistema piloto instalado como pós-tratamento de efluente sanitário apresentou elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, em contrapartida, necessita de manutenção mediante limpezas químicas para o correto controle da colmatação das membranas. Nota-se que com o permeado proveniente do sistema piloto foi obtida uma elevada qualidade cuja aplicação para fins de reúso urbano não potável pode ser uma alternativa interessante para o local.

Palavras-chave: aeração intermitente, biorreator a membrana, reúso da água, esgoto sanitário.



INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

A integração de diferentes tecnologias para o tratamento de efluente sanitário, utilizando sistemas biológicos, físicos e químicos pode resultar em melhorias na qualidade ambiental, afetando positivamente o entorno dos locais de descarte de efluente. Dentre as configurações empregadas para o tratamento, destaca-se a tecnologia denominada como biorreator a membrana (BRM). A utilização de um sistema de tratamento com reatores biológicos em conjunto com filtração por membranas está relacionada à busca por formas eficientes e compactas de uso do efluente após tratamento adequado bem como a elevada qualidade resultante do processo de tratamento. A filtração com membranas torna-se uma tecnologia viável para busca por efluentes de melhor qualidade, visto que pode associar menor área de instalação a redução da carga de produtos indesejados, como sólidos em suspensão, bactérias e matéria orgânica (JUDD, 2011). O Biorreator a Membrana (BRM) está associado ao tratamento biológico do efluente seguido de um processo de separação física. O sistema biológico, um aprimoramento do popular Lodos Ativados, pode ter sua eficiência aumentada ao ser associado a separação por membranas devido, principalmente, a retenção por períodos prolongados da biomassa. A filtração com membranas funciona como uma barreira seletiva, na qual compostos indesejáveis são retidos e o líquido de interesse segue por entre os poros (JUDD, 2011). Os módulos de membrana normalmente utilizadas são a microfiltração ou a ultrafiltração, as quais possibilitam a retenção e o controle da idade do lodo de forma independente ao tempo de detenção hidráulica. Desse modo, possibilitam que em uma área reduzida seja possível a produção de efluente de alta qualidade, mostrando-se mais eficiente no que tange a qualidade final do efluente do que processos convencionais como lodos ativados que empregam decantadores para a separação sólido-líquido, por exemplo. Com relação a configuração proposta, de pós-tratamento de reator UASB com BRM intermitente observa-se uma possibilidade frente as inúmeras plantas instaladas no Brasil dotadas de reatores anaeróbios que necessitam de pós-tratamento que proporcione qualidade de efluente final a nível de descarte ou reúso, além de que em alguns casos, possuem área extremamente restrita para instalação. Outro fator positivo que pode justificar a configuração, consiste no gerenciamento do excesso lodo gerado no processo aeróbio, o qual pode ser recirculado ao sistema anaeróbio a fim de reduzir o teor de umidade (mediante a concentração de sólidos) e conseqüentemente reduzir o custo com a disposição final de lodo. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa consiste na avaliação de um pós-tratamento com BRM modalidade aeração intermitente em escala piloto operando em fluxo contínuo, quanto à remoção de matéria carbonácea e os aspectos relacionados ao monitoramento da colmatação na membrana. Os objetivos específicos consistem em: a) Investigar o comportamento da colmatação da membrana no BRM com aeração intermitente sob duas vazões de ar distintas (6 e 8 NL/min); b) Avaliar o desempenho do BRM

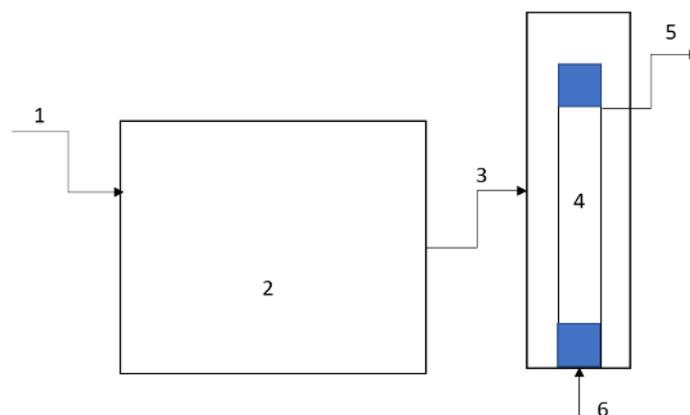


com aeração intermitente quanto à remoção de matéria carbonácea e nitrogênio sob duas vazões de ar distintas (6 e 8 NL/min); c) Avaliar o potencial de reúso do permeado do sistema;

MATERIAL E MÉTODOS

A unidade experimental é composta de um tanque de recepção de efluente sanitário proveniente da saída reator UASB, com fluxo contínuo e capacidade útil de 250 litros. Na sequência há um BRM com capacidade útil de 60 litros, dotado de um módulo de membrana de ultrafiltração submersa (modelo ZW-10, área 0,93m²). O fluxo na membrana adotado em 5,5 L/h.m². O BRM é dotado de um sistema para difusão de ar acoplado a membrana, um rotâmetro para controle da vazão de ar, um compressor de ar cujo acionamento ocorre por um timer para fornecimento do oxigênio necessário ao processo biológico aerado e controle da colmatação, além de medidor portátil de oxigênio dissolvido. A vazão de ar estipulada para o presente projeto é de 6 NL/min e o ciclo de aeração definido permite que o compressor se mantenha acionado durante 15 minutos e desativado por 30 minutos, sendo operado nessa condição por 73 dias. Na sequência, adota-se vazão de ar de 8NL/min com o mesmo ciclo de aeração (15on/30off), operado por mais 35 dias. Posteriormente, mantém-se a vazão de ar em 8NL/min e altera-se o ciclo de aeração onde o período com ar é de 30 minutos e o período sem ar 15 minutos, cujo objetivo é promover a nitrificação do efluente (operação de 28 dias sob essa condição). O piloto possui sistema com vacuômetro para monitoramento da pressão transmembrana, além de conjunto de bomba peristáltica de duplo cabeçote para alimentar o tanque aerado e retirar o permeado da membrana.

Figura 1 – Esquema simplificado de instalação do sistema piloto BRM intermitente



1 – Entrada UASB; 2 – Tanque de recepção; 3 – Alimentação biorreator aerador; 4 – Módulo de membrana submersa UF; 5 – Coleta do Permeado; 6 – Inserção de ar no módulo.



O sistema piloto foi instalado em uma estação de tratamento de esgoto sanitário do município de Capinzal estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 1). O período de coleta de dados ocorreu entre os meses de novembro/2017 e março/2018, totalizando aproximadamente 140 dias de operação contínua com avaliação dos parâmetros de eficiência e monitoramento da colmatação efetuados de maneira semanal e quinzenal no laboratório do Serviço Intermunicipal de Tratamento de Água e Esgoto – SIMAE. Algumas amostras foram acondicionadas e posteriormente avaliadas no Laboratório de Reúso da Água (LaRA) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para avaliar o desempenho do sistema é aplicada as condições operacionais apresentadas anteriormente, onde busca-se monitorar e avaliar o comportamento da biomassa e a qualidade do permeado frente à condição operacional imposta, com vistas à otimização da operação no tratamento de efluente sanitário. Para o monitoramento do BRM foram avaliadas, no esgoto afluente e permeado as variáveis analíticas referentes a demanda química de oxigênio (DQO) total e solúvel, nitrogênio amoniacal, turbidez, cor, pH, coliformes termotolerantes. No licor misto foram realizadas análises de sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos totais (SST), monitoramento do nível de oxigênio dissolvido (OD), temperatura, pressão transmembrana (PTM). Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros e pontos de coleta realizados. Com a avaliação dos parâmetros analíticos apresentados busca-se obter a condição ideal de operação da unidade, de modo a atender os objetivos propostos no presente estudo.

Tabela 1 – Pontos de coleta de amostra no sistema piloto BRM intermitente

Ponto de coleta	Local	Parâmetro
01	Alimentação reator – saída UASB	DQO, DQOs, N_{TOT} , $N-NH_4^+$, P_{TOT} , SST, SSV, pH, turbidez, cor, coliformes termotolerantes
02	Tanque de membrana – Licor misto	SST, SSV, pH, OD, temperatura
03	Permeado – saída das membranas	DQO, DQOs, $N-NH_4^+$, P_{TOT} , pH, turbidez, cor, coliformes termotolerantes

Destaca-se que para sanar possíveis interferentes, as amostras foram filtradas em membrana de 0,45 μm para os parâmetros de DQOs, $N-NH_4^+$ e cor no ponto de coleta 01. Parte das análises foram filtradas e acondicionadas no congelador para a análise posterior. Vale ressaltar que as análises de nutrientes ($P-PO_4^{-3}$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$), devido a sensibilidade do equipamento (DIONEX) utilizado na análise, as mesmas serão filtradas em membrana com tamanho de poro de 0,2 μm . No entanto, até o envio do presente trabalho as análises dos íons em questão não haviam sido realizadas, visto que o equipamento encontrava-se em manutenção.

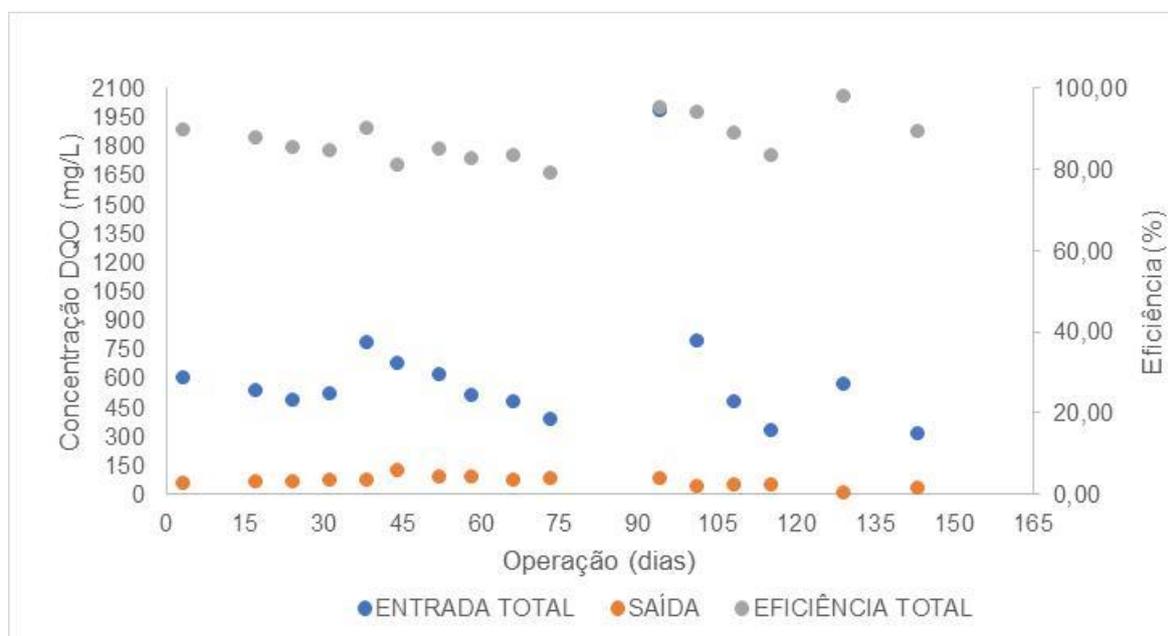


RESULTADOS/DISCUSSÃO

A operação do sistema iniciou em novembro do ano de 2017 e finalizou abril de 2018, sendo que ao todo foram realizadas dezesseis (16) análises do sistema piloto. Para a primeira condição operacional foram coletadas e avaliadas 10 amostras de entrada e saída. Para a segunda e terceira condição operacional, foram coletadas 3 amostras de entrada e saída cada, totalizando mais 6 amostragens.

Com relação parâmetro DQO, os resultados obtidos demonstram uma eficiência satisfatória na remoção da DQO solúvel e uma boa remoção de DQO total. Os resultados para DQO são apresentados na Figura 2.

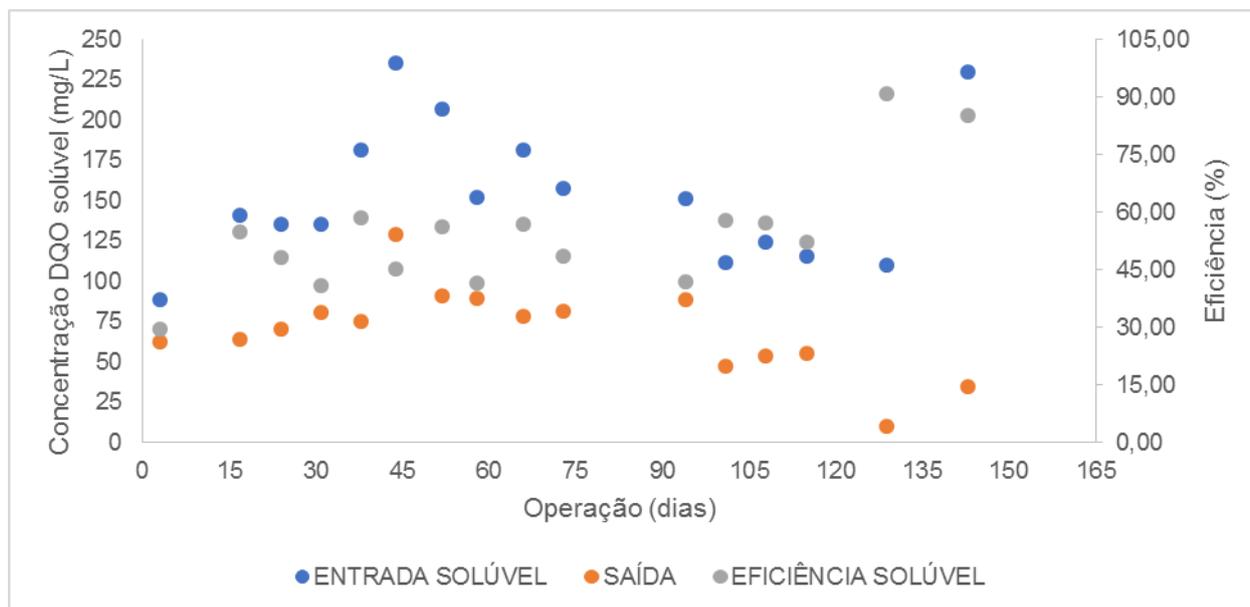
Figura 2 – Eficiência na remoção de DQO total no sistema piloto ao longo do período de operação



Observa-se que a eficiência de remoção para DQO nos períodos com o aumento da vazão de ar e na última condição operacional com o aumento do período com intermitência de aeração acionada. Com relação a DQO total, os autores Barbosa et al. (2016), obtiveram remoção de DQO total em média de 95%, para um sistema piloto com BRM aplicado ao esgoto sanitário em regime de aeração intermitente. Com relação a DQO solúvel, na Figura 03, apresenta-se a remoção e eficiências do sistema piloto.



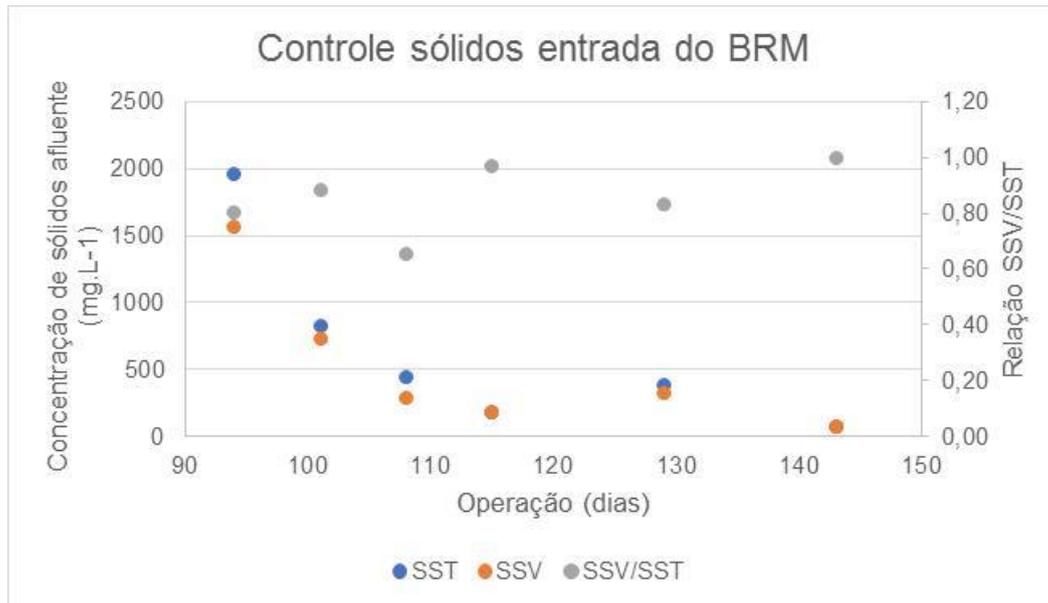
Figura 3 – Eficiência na remoção de DQO solúvel no sistema piloto ao longo do período de operação



Com os dados expostos na Figura 3, observa-se que a remoção de DQO solúvel foi de 54%, frente a remoção de DQO total que foi de 87,2%. Ao longo do período avaliado, as eficiências de remoção de turbidez e cor foram de 99,93 e 44% respectivamente. O pH manteve-se sem variações expressivas para o afluente ao sistema (7,6) e permeado (7,8). Os sólidos em suspensão totais e voláteis na entrada do sistema foram avaliados somente para caracterização da saída do UASB, sendo realizado uma quantidade menor de análises (06), conforme Figura 4. Com base na Figura 4, nota-se que houve uma variação nas concentrações ao longo das análises, o que pode estar relacionado a operação do reator UASB instalado na estação. No mês de janeiro ocorreu o descarte do lodo do reator, sendo que após esse procedimento ocorreu uma redução no arraste de sólidos para o BRM. Com relação ao fósforo total, foram realizadas somente três análises para caracterização da entrada e saída do sistema, cujo valores de eficiência encontram-se em 94 e 62% de remoção de fósforo. Vale ressaltar que, nas análises com 62% de eficiência a saída apresentou valores de 16,9 e 14,8 mg/L, tais valores são superiores aos recomendados pela legislação estadual para descarte em corpo receptor. Os valores de referência para descarte encontram-se <4 mg/L ou 75% de eficiência (SANTA CATARINA, 2009).



Figura 4 – Monitoramento de sólidos suspensos totais e voláteis afluentes ao BRM intermitente



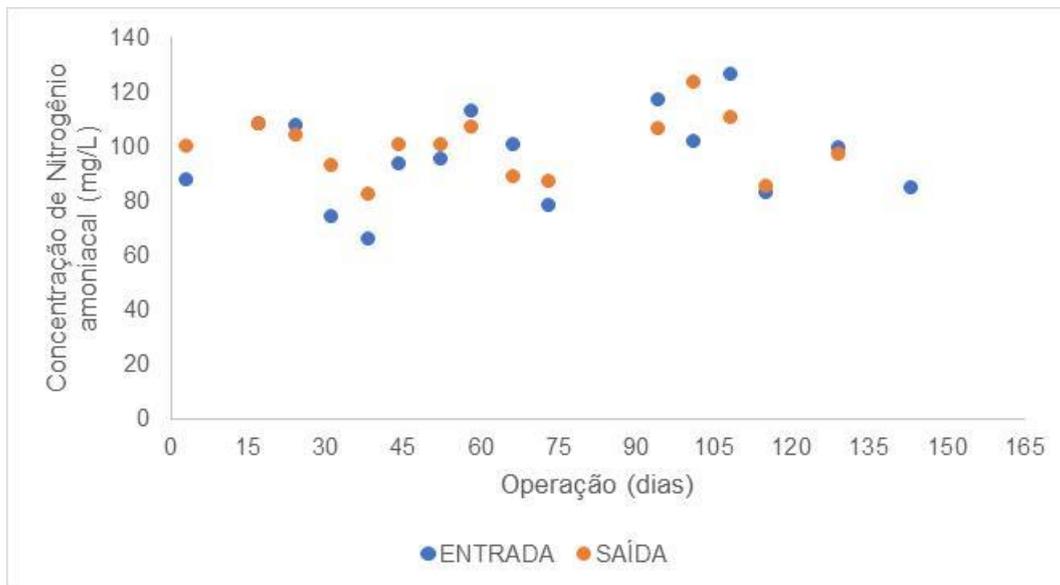
Ainda, para verificar a possibilidade de nitrificação durante a operação, foi monitorado o nitrogênio amoniacal na entrada e saída do reator. Observou-se que não ocorreu a nitrificação ao longo do período estudado, tal fato pode estar associado as bactérias nitrificantes possuírem uma taxa de crescimento lenta, e, portanto, não ter se desenvolvido no reator (METCALF; EDDY, 2010). Outros autores, como Chang et al. (2011), operaram um sistema com esgoto sintético e sanitário em diferentes condições de aeração intermitente, obtendo remoção de nitrogênio amoniacal superior a 79% durante o período avaliado. Foi avaliado processo de nitrificação mediante monitoramento de nitrogênio amoniacal afluente e efluente do sistema. Os resultados encontram-se apresentados na Figura 5.

Para a ultima coleta, somente é apresentada o resultado da entrada do sistema. Os resultados expostos na Figura 5, demonstram que nas diferentes condições operacionais empregadas não ocorreu o processo de nitrificação. Para a caracterização do efluente, foi realizada análise de coliformes termotolerantes, cujo resultado no permeado apresentou valor de 20 NMP/100mL.

Para enquadramento do reúso da água adota-se como referencia a Norma Brasileira 13969 (ABNT, 1997), sendo os parâmetros mais restritivos associados ao reúso direto não potável para atividades como limpeza de piso e calçadas, irrigação de jardim, entre outros, cuja turbidez deve ser menor que 5 NTU, Coliformes fecais < 500 NMP/100mL além de residual de cloro >0,5 mg/L. Com os resultados obtidos poderia ser aplicado o efluente final para fins de reúso, considerando uma cloração ao final do processo.

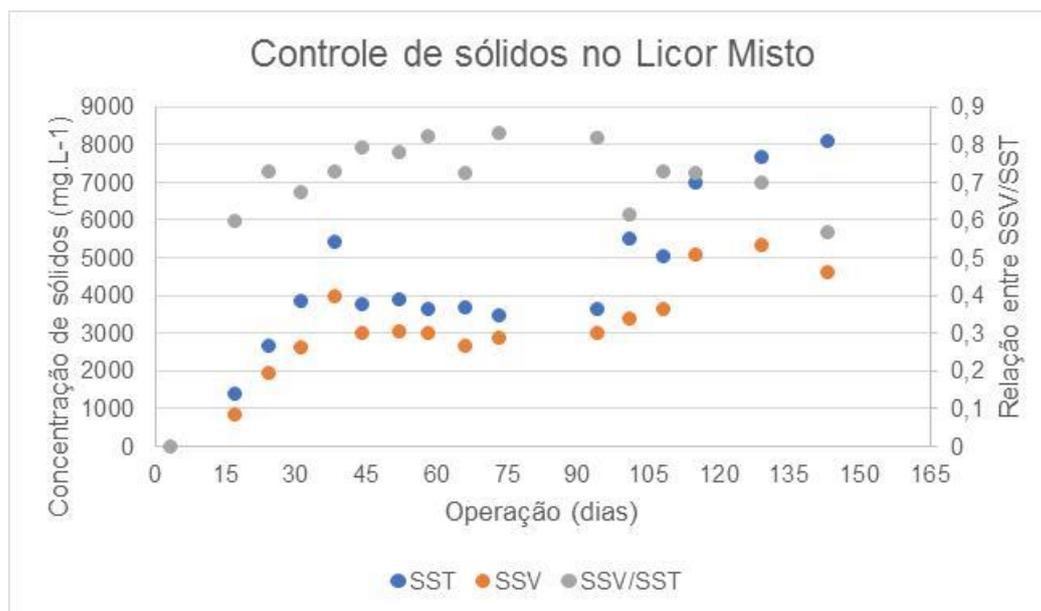


Figura 5 – Monitoramento do nitrogênio amoniacal durante a operação do sistema de tratamento



Com relação ao fenômeno da colmatção nas membranas foi monitorada a pressão transmembrana (PTM), além da coleta de dados do teor de sólidos em suspensão totais e voláteis, o oxigênio dissolvido e temperatura no licor misto do interior do reator. Na Figura 6 são apresentados os dados coletados.

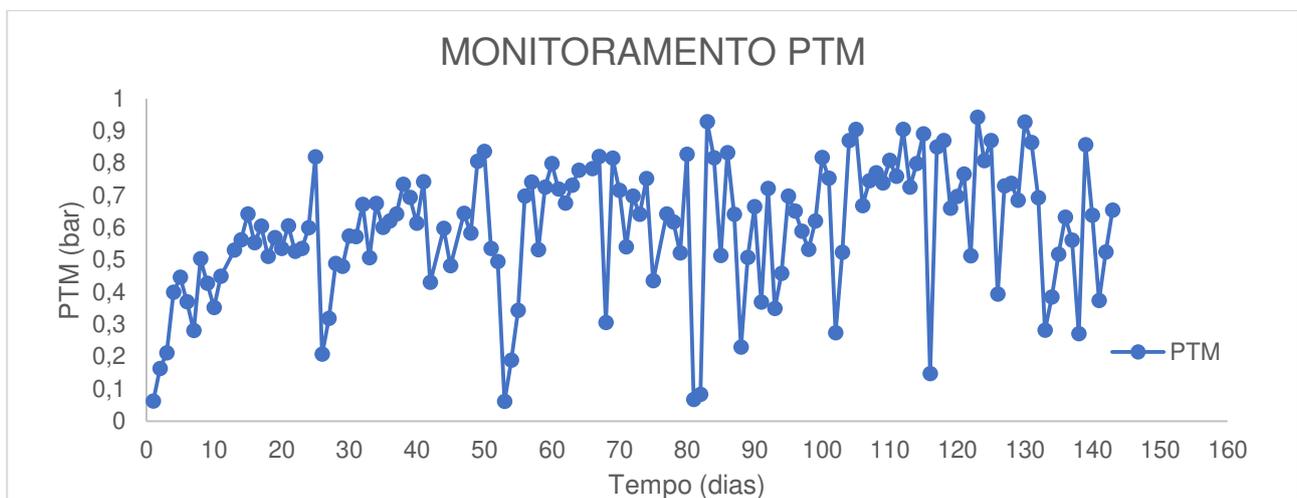
Figura 6 – Monitoramento do teor de sólidos suspensos totais e voláteis do licor misto





O teor de sólidos presente no meio variou conforme as alterações na condição operacional, sendo que a relação SSV/SST apresentou declínio próximo ao encerramento da operação. Nota-se que durante o período não foi dado descarte de licor misto, somente eram coletadas amostras para avaliação do licor. Desse modo, a atividade da celular pode ter entrado em estágio de declínio de metabolismo, o que indica uma possível necessidade de descarte do lodo no processo. Para controlar a colmatação foram realizadas limpezas químicas quando a PTM atingia valores superiores a 0,7 bar. Na Figura 7, são apresentados os dados de monitoramento da pressão e as respectivas limpezas realizadas.

Figura 7 – Monitoramento do pressão transmembrana instalada no piloto



Nota-se que as limpezas químicas ocorrem nos períodos em que os valores da pressão estiveram próximos a 0,7 bar. Ao longo da pesquisa, foram efetuadas 10 limpezas químicas com hipoclorito de sódio, as quais reestabeleciam a pressão transmembrana. Pode-se destacar que conforme foi elevado a vazão de ar e o ciclo com maior tempo de aeração a colmatação apresentou uma ligeira redução, indicando uma situação operacional mais confortável.

CONCLUSÃO

Com a operação do sistema piloto foi observada a elevada remoção de DQO, turbidez e sólidos em suspensão. Quanto a eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal não foi satisfatória devido principalmente ao lento crescimento das bactérias nitrificantes. O permeado produzido pelo sistema é passível de reúso urbano para fins não potáveis, cujas atividades consistem em limpeza



calçadas e irrigação de jardins, por exemplo. Tal condição favorece o desenvolvimento e aplicação da tecnologia, especialmente voltadas ao reúso dos recursos ambientais.

Vale ressaltar que o monitoramento da PTM ao longo da operação demonstrou resultado de instabilidade ao longo das condições avaliadas, o que exigiu o processo de limpeza química frequente. Para melhorar a condição de colmatação excessiva observada no presente sistema, como alternativa, sugere-se modificações na vazão de ar empregada bem como os períodos com o sistema de aeração em funcionamento, de maneira a reduzir a deposição do material na superfície da membrana.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: Abnt, 1997. 60 p.
- BARBOSA, Izabela Major et al. Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em biorreator com membranas submersas operando em condição de nitrificação e desnitrificação simultânea. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.304-315, mar. 2016. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993x>.
- CHANG, Jun-jun et al. Effect of intermittent aeration on the microbial community structure of activated sludge in a submerged membrane bioreactor. **Water And Environment Journal**, [s.l.], v. 25, n. 2, p.214-218, 5 maio 2011. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00213.x>.
- JUDD, Simon. **The MBR Book**. 2. ed. S/i: Butterworth-heinemann, 2011. 536 p.
- METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5. ed. New York: Mcgraw-hill Higher Education, 2015.
- SANTA CATARINA (Estado). **Lei nº 14675**, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.. ?. Florianópolis, SC, 13 abr. 2009. Disponível em: <http://www.guaramirim.sc.gov.br/arquivos/1394475776_lei-n-14675-2009-codigo-estadual-do-meio-ambiente-com-alteracoes-da-lei-16342-2014.pdf>. Acesso em: 17 out. 2015.