

USO DA TECNOLOGIA DOS BIORREATORES ANAERÓBIOS DE MEMBRANA DINÂMICA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Juane Nogueira Nascimento¹
Rafaela Barbosa Santos²
Maria Virgínia da Conceição Albuquerque³
Marília Patrício Alves⁴
Wilton Silva Lopes⁵

RESUMO

A tecnologia emergente dos biorreatores anaeróbios de membrana dinâmica (BRAnMD), tem sido uma abordagem adotada como uma alternativa promissora ao uso dos biorreatores anaeróbios de membranas convencionais devido aos seus méritos, como baixo custo do módulo de membrana, menor custo de energia e fácil controle de incrustação. O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica sobre a produção científica no tema “Uso de Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica no Tratamento de Águas Residuárias”, e teve como objetivo identificar, resumir e avaliar os avanços na produção da tecnologia desses biorreatores. Foram considerados os bancos de dados SciELO (Scientific Electronic Library Online), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ScienceDirect, acessados no período de março à junho de 2019, com publicação nos últimos 8 anos. As produções reportaram que os BRAnMDs são capazes de produzir um efluente de alta qualidade, pois são capazes de remover vários parâmetros das águas residuárias, como DQO, turbidez, cor aparente, sólidos totais e suspensos. A tecnologia da membrana dinâmica representa uma alternativa econômica às membranas convencionais, de fácil limpeza e baixo consumo de energia.

Palavras-chave: Tratamento de águas residuárias, Biorreatores anaeróbios de membrana, Membrana Dinâmica.

INTRODUÇÃO

O Saneamento Básico, segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), é o gerenciamento ou controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos ao homem, prejudicando seu bem-estar físico, mental e social. No Brasil, a falta de saneamento é um dos maiores problemas do país, pois grande quantidade de águas residuárias não tratada é

¹ Mestranda do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, juane.nogueira@gmail.com;

² Mestranda do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, rafaelab.esa@gmail.com;

³ Doutoranda do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, virginia.albuquerque@yahoo.com;

⁴ Mestranda pelo Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, mariliapatrici@gmail.com;

⁵ Professor orientador: doutor, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, wiltonuepb@gmail.com.

lançada em rios, lagos e represas, constituindo um dos principais fatores do baixo índice de qualidade da água, ameaçando a saúde da população e a preservação do meio ambiente.

Um estudo realizado em 2017, pela Agência Nacional de Águas (ANA) aponta que 43% da população brasileira urbana são atendidos pelo sistema coletivo (rede coletora e estação de tratamento de esgoto); 12% por solução individual (fossa séptica); 18% se enquadram na situação em que os esgotos são coletados, mas não são tratados; e 27% são desprovidos de atendimento, ou seja, não há coleta nem tratamento de esgoto. Somando a parcela dos cidadãos que não tem esgotos tratados e os que não têm coleta, são 45% da população, ou seja, 93,5 milhões de pessoas que não tem os seus esgotos tratados. Diariamente 5,5 mil toneladas de esgoto não tratado chegam principalmente aos rios, mas também vão parar em reservatórios de água, mananciais e lagos do país.

Diante desta questão, é necessário que sejam pesquisadas tecnologias de tratamento de águas residuárias de baixo custo e que garantam a qualidade dos efluentes, tanto para reuso como para lançamento em corpos d'água. O exemplo dessas tecnologias têm-se os Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica (BRAnMD).

O BRAnMD é uma combinação do processo de tratamento anaeróbio e da tecnologia de filtração por membranas, estabelecendo vantagens econômicas e na qualidade do efluente. (HU et al., 2018). Em geral, Membrana Dinâmica (MD) é uma camada de torta ou biofilme recém-formada no suporte de membrana. A MD é criada quando partículas e outros floculantes, da água residuária sendo filtrada, forma uma membrana secundária na superfície do material de suporte de membrana. Isto é único, porque usa contaminantes existentes na água para formar uma camada de filtração, sem introdução extra de contaminantes químicos ou outros. (LI et al., 2018). O material de suporte para formação da MD pode ser uma malha de tamanho de poro maior, ou outro material poroso de baixo custo.

Alguns estudos sobre BRAnMD foram conduzidos, que concentram-se principalmente no tratamento de água residuárias de baixa a alta resistência, e demonstraram um desempenho comparável ao biorreator de membranas convencionais. Partindo desse pressuposto, o presente trabalho tem como objetivo identificar, resumir e avaliar os avanços na produção da tecnologia dos BRAnMDs, através da busca de produção dos trabalhos publicados nos últimos 8 anos.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica sobre a produção científica no tema “Uso da tecnologia dos biorreatores anaeróbios de membrana dinâmica no tratamento de águas residuárias”. Foram considerados os bancos de dados SciELO (Scientific Electronic Library Online), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior) e ScienceDirect, acessados no período de março à junho de 2019, com publicação nos últimos 8 anos.

DESENVOLVIMENTO

As principais tecnologias de tratamento de águas residuárias são desenvolvidas tendo como principal referência o lançamento em corpos d’água. A destinação final da água residuária tratada e/ou a legislação para reuso serão fatores decisivos na escolha do nível de tratamento a ser adotado, pois dependendo dos tipos de poluentes que se pretende remover das águas residuárias será necessário aplicar um ou vários dos níveis de tratamento disponíveis: preliminar, primário, secundário e terciário ou avançado.

Os processos de tratamento secundário responsáveis pela remoção de matéria orgânica biodegradável constituem a alternativa mais interessante sob os pontos de vista técnico e econômico para a efetiva redução de concentração dos compostos predominantes no esgoto. A histórica utilização e reconhecida eficiência elevada de processos aeróbios mecanizados, como os sistemas de lodos ativados e filtros biológicos, tem evoluído pela inclusão de etapa de tratamento anaeróbio prévio, representada principalmente pelos reatores UASB. Nestas novas concepções, o sistema de tratamento ganha maior racionalidade, economizando em energia elétrica e produzindo quantidade de lodo substancialmente menor, dentre outras vantagens como, um menor requisito de área para a sua instalação, tendo custos de implantação e operação mais vantajosos quando comparados aos sistemas aerados.

Apesar das vantagens descritas, um problema associado aos reatores anaeróbios quando operados em condições limitantes, como, extrema salinidade e valores adversos de pH, é que podem contribuir para a baixa taxa de crescimento dos microrganismos. Isto promove problemas de retenção da biomassa devido à influência dessas condições na granulação do lodo e na conseqüente perda de biomassa enfrentada em reatores anaeróbios de manta de lodo. As propriedades relativamente pobres da biomassa nos sistemas de tratamento anaeróbio convencionais levam a um longo período de inicialização (Naessens et al., 2012).

Sendo assim, a total retenção de microrganismos anaeróbios pode ser obtida acoplando-se membranas ao reator biológico.

Entre as diversas opções tecnológicas disponíveis para o tratamento de águas residuárias, o Biorreator Anaeróbio de Membrana (BRAnM) surge como uma alternativa de processo que possibilita tal tratamento.

Metcalf & Eddy (2016) definem biorreator de membrana como sendo um sistema completamente misturado que utiliza uma unidade de separação por membranas sintéticas para a separação e a reciclagem de sólidos possibilitando um longo tempo de retenção celular (TRC) com um pequeno tempo de detenção hidráulica (TDH). O Biorreator Anaeróbio de Membrana (BRAnM), pode ser definido como um processo de tratamento biológico de águas residuárias que possui uma membrana filtrante para realizar a separação sólido – líquido de efluente tratado. A membrana garante a retenção dos microrganismos dentro do reator, propicia a geração de um efluente consistentemente de boa qualidade no que se refere ao teor de sólidos suspensos e turbidez, como também, dependendo do tipo de membrana, contribui para a remoção de sólidos dissolvidos.

Na última década, vários estudos têm investigado as condições de aplicação dos BRAnMs, e mostrado que, de fato, Membranas de Microfiltração (MF) e Ultrafiltração (UF) permitem a completa retenção da biomassa, sob baixo tempo de retenção hidráulica (TRH) (Alibardi et al, 2016). Mas, o custo das membranas, fenômenos de incrustação e baixo fluxo têm representado as principais desvantagens desse processo. Consequentemente, tecnologia de Membrana Dinâmica (MD), tem sido recentemente proposta como uma alternativa ao uso das membranas convencionais de Micro/UltraFiltração, pois a filtração dinâmica tem menor risco de incrustação, requer menos energia e menores custos de material de filtro (Ersahin et al, 2012).

Uma malha ou um pano de filtro é aplicado como material de suporte de filtração para formação da Membrana Dinâmica (MD). MD é uma camada de torta ou biofilme obtido através do depósito sobre a malha de substâncias orgânicas e bactérias presentes no reator, esta camada torna-se mais densa ao longo do tempo e tem capacidade de filtrar vários poluentes e patógenos. (Smith et al., 2013; Ersahin et al., 2017). A membrana dinâmica pode ser facilmente removida da superfície do material de suporte e pode ser restabelecida novamente em curto espaço de tempo.

A qualidade do efluente obtido nos estados iniciais de filtração é geralmente baixa e o efluente pode conter concentração de Sólidos Suspensos (SS) elevadas. Uma vez que a MD é formada e a rejeição de sólido é realizada por esta camada biológica regenerativa, eleva-se a qualidade do efluente. Geralmente, a camada de MD é formada rapidamente na fase inicial de filtração e os filtrados iniciais podem ser retornados ao reator.

Segundo Alibardi et al. (2016), a relação entre o tamanho dos poros da malha, usada como material de suporte, e a formação da camada dinâmica ainda não é claro e o uso de malha com poro de tamanho maior pode reduzir a resistência de filtração total.

A literatura mostra que a aplicação de Biorreator Anaeróbio de Membrana Dinâmica (BRAnMD) ainda está em seus estágios iniciais, e que o foco das atuais áreas de pesquisa são: a viabilidade e o desempenho no tratamento de várias águas residuais, fatores de influência, otimização do módulo de membrana e caracterização das propriedades do lodo a granel e da camada da MD (An et al., 2009; Ersahin et al., 2017).

Os resultados reportados recentemente indicam que o BRAnMD pode fornecer uma taxa de remoção de DQO e SS de 60 – 90%, e taxas de remoção de turbidez de 90 a 100% (Ersahin et al., 2014; Alibardi et al., 2016a). Além disso, observou-se que, assim como em ambientes anaeróbios existe o baixo efeito de remoção biológica de nutrientes, o BRAnMD também resultou baixo desempenho de remoção de nutrientes, pois os dados mostram que todas as taxas de remoção de nutriente foram inferiores a 30% (Hu et al., 2017).

O desenvolvimento da pesquisa contém a revisão bibliográfica, as principais discussões teóricas e a trajetória da mesma ao longo do recorte estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alibardi et al. (2016), teve como objetivo avaliar a aplicação de um biorreator anaeróbio de membrana dinâmica, equipado com uma malha de filtração de 200 μm , para o tratamento de água residuárias municipais de alta resistência à temperatura ambiente. Uma malha com tamanho grande de poro foi utilizada para melhorar a filtrabilidade e reduzir o consumo de energia. O estudo também teve como objetivo avaliar a contribuição da camada dinâmica na eficiência global de remoção de material orgânico do reator. O reator foi alimentado com água residuária sintética, que simulava água residuária municipal de alta resistência. Para avaliar a qualidade da água tratada, os parâmetros DQO, DQO solúvel, Sólidos Suspensos Totais

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

(SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) foram medidos de acordo com o Standard Methods. Os resultados demonstraram que uma MD em condição anaeróbia pode ser obtida, em uma malha de tamanho grande de poro (200 μm), tratando água residuária à temperatura ambiente. O tamanho grande de poro permitiu altos fluxos de membrana (aproximadamente $15 - 20 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$) aplicando baixa pressão transmembrana (PTM) (usualmente menor que 50 – 100 mbar) O sistema alcançou uma remoção média de DQO total e DQO solúvel superior a 80% e 90%, respectivamente. Fluxos superiores a $20 \text{ Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ produziram baixa eficiência de remoção de sólidos, indicando deterioração da MD.

Ersahin et al. (2014), investigaram a aplicabilidade da tecnologia da MD no tratamento de água residuária orgânica de alta resistência em BRAnMD. Dentro deste conceito, diferentes tempos de detenção de lodo (TDL), de 20 a 40 dias, foram aplicados em um BRAnMD submerso, a fim de determinar o efeito do TDL no desempenho biológico da MD e suas características de filtração. Um tecido monofilamento foi utilizado como material de suporte para formação da membrana dinâmica. Para avaliar a aplicabilidade da tecnologia da MD, remoção de DQO, capacidade total de retenção de sólidos suspensos (SST), geração de biogás (metano), evolução da pressão transmembrana (PTM), resistência específica de filtração (REF) e substâncias poliméricas extracelular / produtos microbianos solúveis (EPS / SMP) foram investigadas. Os resultados demonstraram que o BRAnMD submerso alcançou mais de 99% de remoção de DQO e de SST. Como uma alternativa às membranas de microfiltração ou ultrafiltração, o tecido de monofilamento de polipropileno foi usado como material de suporte para formar a camada da MD e proporcionou uma filtragem de alta qualidade por esta camada de auto-formação. Verificou-se também, que o TDL é um fator importante, tendo um efeito significativo na produção de SMP e EPS, formação e consolidação da camada da MD. Resistências de filtração mais altas foram medidas durante a operação com TDL de 40 dias em comparação com TDL de 20 dias, aplicando um fluxo estável de $2,6 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. As maiores resistências de filtração coincidiram com a menor concentração de substâncias poliméricas extracelulares no lodo com TDL de 40 dias, provavelmente resultando em uma diminuição na floculação das partículas. Os resultados mostraram que a tecnologia da membrana dinâmica alcançou um permeado estável e de alta qualidade e que os BRAnMDs podem ser usados como uma tecnologia confiável e satisfatória para o tratamento de águas residuárias de alta resistência.

Li et al. (2018), utilizaram a tecnologia a membrana dinâmica para remover micropartículas de baixa densidade, não degradáveis, como o plástico, que são contaminantes

de águas residuárias. Essas micropartículas não são facilmente removidas via sedimentação convencional e resultam em aumento dos custos operacionais e manutenção em processos unitários a jusante. Neste sentido, os objetivos deste estudo foram: avaliar a viabilidade da tecnologia da MD para remoção de micropartículas; identificar o mecanismo de formação da camada dinâmica, utilizando os modelos de Hermia; e avaliar o efeito do fluxo afluente e da concentração de partículas afluente no processo de filtração da MD. Neste estudo, as MDs foram formadas em uma tela de suporte de 90 μm através da filtração de um efluente sintético. Os resultados reportaram que, a turbidez do efluente foi reduzida para < 1 NTU após 20 minutos de filtração, verificando-se a efetiva remoção de micropartículas pela MD. A pressão transmembrana e a resistência total de filtração aumentaram linearmente com o tempo de filtração e foram aumentando correlacionadas. A pressão transmembrana variou de 80 a 180 mm de colunas d'água, e a resistência total de filtração variou de $2,89 \times 10^{-9} \text{m}^{-1}$ a $6,52 \times 10^{-9} \text{m}^{-1}$ durante a filtração da membrana dinâmica. Em geral, um aumento no fluxo afluente e na concentração de partículas afluente corresponde ao aumento da PTM e da resistência total de filtração, bem como uma rápida redução na turbidez do efluente devido à formação rápida da membrana dinâmica na malha de suporte. O estudo concluiu que a formação da camada dinâmica foi confirmada de acordo com o modelo de Hermia, e que, o fluxo crescente e a concentração de partículas afluente facilitaram a formação rápida da MD e podem ser usados como parâmetro de controle para o processo de formação de DM.

Saleem et al. (2016), avaliaram os efeitos do fluxo inicial em razão do desenvolvimento da membrana dinâmica e no desempenho do biorreator durante dois experimentos consecutivos. A membrana dinâmica foi desenvolvida sobre uma malha de 200 μm e o reator foi operado sob condições anaeróbias. Este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da MD em um reator anaeróbio de membrana dinâmica quando diferentes fluxos de filtração foram aplicados. O estudo também avaliou o desempenho do reator resultante de diferentes taxas de fluxos de filtração, tempo de detenção hidráulica e carga orgânica. A pesquisa foi conduzida em um BRAnMD de escala de bancada, acoplado a um módulo de membrana externo de fluxo cruzado. Para avaliar a qualidade do efluente, foram medidos os parâmetros DQO, Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), de acordo com o Standard Methods. Os resultados reportaram que, altos fluxos do permeado estão positivamente ligados à taxa de desenvolvimento da MD, pelo menos nas condições de operação aplicadas. O rápido desenvolvimento da membrana dinâmica durante a segunda corrida experimental a altos

fluxos iniciais e menores concentrações de sólidos suspensos no licor misto também afetaram o desempenho do biorreator em termos de remoção mais eficiente de DQO e produção de biogás. Os resultados também demonstraram que o rápido desenvolvimento da MD assegurou desempenhos mais estáveis do biorreator, para os quais as eficiências de remoção de DQO e sólidos foram compatíveis aos sistemas de tratamento anaeróbios convencionais de alta taxa.

Wang et al. (2018), estudaram o processo de formação e as características de incrustação da membrana dinâmica em um biorreator de membrana dinâmica para recuperar material orgânico em águas residuárias. Este estudo também teve como objetivos: analisar a estabilidade de operação da membrana dinâmica; estudar as características de incrustação da membrana sob altos fluxos e investigar os mecanismos de incrustação da mesma. O material de suporte da membrana dinâmica foi uma malha de tecido com tamanho de poro de 150 μm . O reator foi operado em condição anaeróbia a temperatura de 25 °C e pH 7. Os resultados demonstraram que a eficiência de recuperação de matéria orgânica chegou a 80%. Além disso, as evoluções dos componentes incrustantes foram determinadas durante os processos de formação e desenvolvimento da membrana dinâmica. Após operação a longo prazo, a diminuição das concentrações de proteína, acompanhado do aumento de polissacarídeos e microrganismos, devido a condições operacionais especiais, foram curiosamente observados no lodo da superfície da membrana. Foi concluído que, embora altos fluxos de membrana tenham sido adotados neste estudo, o reator ainda pode obter uma operação estável a longo prazo e o ciclo operacional alcançou até 8 dias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços realizados em pesquisas justificam o recente interesse crescente nos Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica, que tem sido uma abordagem adotada como uma alternativa promissora para resolver os problemas encontrados nos processos de BRM. Pois, de fato eles são capazes de remover vários parâmetros das águas residuárias, como DQO, turbidez, cor aparente, sólidos totais e suspensos. A tecnologia da membrana dinâmica representa uma alternativa econômica às membranas convencionais, de fácil limpeza e baixo consumo de energia. Além da baixa resistência à filtração e baixa pressão transmembrana.

REFERÊNCIAS

ALIBARDI, L. et al. Anaerobic dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment at ambient temperature. *Chemical Engineering Journal*, v. 284, p. 130–138, 2016

AN, Y., WANG, Z., WU, Z., YANG, D., & ZHOU, Q., Characterization of membrane foulants in an anaerobic non-woven fabric membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 155(3), 709–715, 2009.

ERSAHIN, M. E. et al. A review on dynamic membrane filtration: Materials, applications and future perspectives. *Bioresource Technology*, v. 122, p. 196–206, 2012.

ERSAHIN ME, OZGUN H, TAO Y, van LIER JB. Applicability of dynamics membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. *Water Res.* v. 48. p. 420–429, 2014.

ERSAHIN, M. E. et al., Impact of anaerobic dynamic membrane bioreactor configuration on treatment and filterability performance. *Journal Of Membrane Science*, [s.l.], v. 526, p.387-394, 2017.

HU, Y., WANG, X.C., HAO NGO, H., SUN, Q., YANG, Y., Anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for wastewater treatment: A review, *Bioresource Technology*, 2017.

HU, Y. et al. *Bioresource Technology* Anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for wastewater treatment : A review. *Bioresource Technology*, v. 247, p. 1107–1118, 2018.

LI, L. et al., Dynamic membrane for micro-particle removal in wastewater treatment: Performance and influencing factors. *Science of the Total Environment*, P. 332–340, 2018

METCALF & EDDY. TRATAMENTO de efluentes e recuperação de recursos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016

NAESSENS, W; MAERE, T; NOPENS, I. Critical review of membrane bioreactors models: Part 1: Biokinetic and filtration models. *Bioresource Technology* 122, 95 – 106, 2012.

SALEEM, M; ALIBARDI L; LAVAGNOLO M C; COSSU R; SPAGNI A. Effect of filtration flux on the development and operation of a dynamics membrane for anaerobic wastewater treatment. *Journal of Environmental Management* 180, 459 – 465, 2016.

SMITH, A.L., SKERLOS, S.J., RASKIN, L., Psychrophilic anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater. *Water Res.* 47 (4), 1655e1665, 2013.

WANG, L., LIU, H., ZHANG, W., YU, T., JIN, Q., FU, B., LIU, H., Recovery of organic matters in wastewater by self-forming dynamics membrane bioreactor: Performance and membrane fouling, *Chemosphere*, 2018.