

II-373 - AVALIAÇÃO DO MOVING BED BIOFILM REACTORS (MBBR) EM ESCALA PILOTO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Isabelly Silveira Freitas

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Ceará.

Tasso Jorge Tavares Ferreira

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade de Fortaleza. Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental) pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC).

Vinicius Câmara Caldas

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

André Bezerra dos Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Environmental Sciences pela Wageningen University, Holanda. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Silvio Luiz de Sousa Rollemberg⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental) pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC).

Endereço⁽¹⁾: Edifício Harmony Premium Business - Av. Humberto Monte, 2929, Sala 804, Torre Norte Pici, Fortaleza - CE - Brasil. CEP: 60440-593. E-mail: silviorollemberg@gmail.com

RESUMO

Os sistemas de lodo ativado são uma das tecnologias que se destacam no tratamento de esgoto sanitário, notadamente pela elevada qualidade do efluente tratado. Entretanto, esses sistemas apresentam algumas desvantagens, como a necessidade de decantadores secundários, de sistema de recirculação de lodo, alto grau de mecanização e elevado consumo de energia elétrica e elevada taxa de geração de lodo. Dentre as tecnologias alternativas aos sistemas de lodo ativado, cita-se, o sistema de tratamento conhecido por *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR). O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da tecnologia MBBR no tratamento de esgoto sanitário diluído. Para isso, foi utilizado um reator MBBR com a biomídia Biobob® como suporte para imobilização do lodo. Com relação à DQO afluente, observou-se valores médios próximos a 270 mg/L, portanto apresentando característica de esgoto sanitário diluído. No início da operação, o reator apresentou taxas de remoção de DQO abaixo de 70%, no entanto, após a formação do biofilme, estimado em cerca de 24 dias, a remoção de DQO se manteve acima de 90%. Ademais, no período de maturação apresentou uma remoção de nitrogênio amoniacal em torno de 99%. Com isso, infere-se biomídia Biobob® proporcionou uma ótima adesão do biofilme em pequeno intervalo de tempo, resultando também na remoção de DQO e amônia de forma simultânea. Foi também observado que o desenvolvimento do biofilme não comprometeu a movimentação das biomídias e não houve colmatação durante o período operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário diluído; Moving Bed Biofilm Reactor; Biobob®.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico aliado a necessidade de preservação ambiental e preocupação com os recursos hídricos proporcionaram um considerável avanço na área de saneamento ambiental como um todo no último século. Na área específica de tratamento de esgoto, observou-se o surgimento de diversas tecnologias, visando sobretudo o tratamento de esgoto sanitário conjuntamente com a produção de efluente tratado de elevada qualidade, com possibilidade de reúso.

Os sistemas de lodo ativado são uma das tecnologias que se destacam no tratamento de esgoto sanitário, notadamente pela elevada qualidade do efluente tratado, baixo requisito de área, ausência de produção de gases odoríferos, e possibilidade de remoção de nutrientes. Por outro lado, tais sistemas apresentam algumas desvantagens, como: (i) necessidade de decantadores secundários, método mais comum de separação sólido-líquido; (ii) sistema de recirculação de lodo; (iii) alto grau de mecanização e elevado consumo de energia elétrica; e (iv) elevada taxa de geração de lodo (VON SPERLING, 2014).

Dentre as tecnologias alternativas aos sistemas de lodo ativado, cita-se, o sistema de tratamento conhecido por *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR). Esse sistema baseia-se no desenvolvimento de biofilme em leito móvel, para a remoção de diversos constituintes presentes no esgoto, entre os quais a matéria orgânica e nutrientes. Ele agrupa os melhores atributos dos processos de lodo ativado, conjunto ao perfil dos processos de biofiltros, descartando assim as características indesejáveis de ambos os processos (RUSTEN, et al., 2006).

Nos sistemas MBBR, a recirculação de lodo no sistema é dispensada, uma vez que a biomassa cresce predominantemente em forma de biofilme, o que garante uma elevada idade de lodo e a operação com baixo tempo de detenção hidráulica (TDH) (VON SPERLING, 2014). A operação pode acontecer de forma aeróbia, anóxica ou anaeróbia. Entretanto, para ambas as formas de operação, o movimento fluido das biomédias deve ser garantido. Dessa forma, nos sistemas aeróbios, a movimentação das biomédias ocorre por meio da aeração disponibilizada por sistemas aeradores distribuídos na base do reator. Assim, o sistema de aeração tem que ser capaz de promover a movimentação das biomédias e evitar áreas estagnadas, assim como promover oxigênio dissolvido que será usado nos metabolismos dos microrganismos (BASSIN e DEZOTTI, 2011).

O MBBR pode ser utilizado tanto para remoção de demanda química de oxigênio (DQO) quanto para remoção de nutrientes, alcançando usualmente valores típicos acima de 90% para DQO e $\text{NH}_4^+\text{-N}$ no tratamento de esgoto sanitário. Em adição, cita-se a redução da área demanda em relação aos sistemas de lodo ativado, evitabilidade do sistema de recirculação de lodo, menor sensibilidade a choques de carga orgânica e hidráulica e outras vantagens (METCALF & EDDY, 2016). Embora a tecnologia MBBR tenha sido bastante explorada em pesquisas científicas e tenha várias plantas em funcionamento em todo o mundo, observa-se que a aplicação no Brasil ainda se encontra pouco difundida, principalmente pelo baixo conhecimento sobre esses sistemas nas condições de clima e qualidade do esgoto sanitário.

Diante desse cenário, esse trabalho avaliou o desempenho de um reator tipo MBBR no tratamento de esgoto sanitário diluído, tanto em termos de eficiência quanto em relação à estabilidade operacional do sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local da pesquisa e esgoto utilizado

A pesquisa ocorreu na cidade de Fortaleza-CE, especificamente na Estação de Pré-Condicionamento (EPC), operada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). O esgoto inicialmente passou por um tratamento preliminar constituído por gradeamento com limpeza manual com espaçamento entre barras de 15 cm, gradeamento mecanizado com espaçamento de 5 cm, peneiramento rotativo com espaçamento de 1,5 mm, desarenação e remoção de óleos e gordura. O ponto de coleta para o MBBR foi definido após essa última etapa do tratamento.

Meio suporte utilizado (Biomédia)

Foi usada como meio suporte para imobilização do lodo a biomédia Biobob®, desenvolvido pela empresa BioProj Tecnologia Ambiental Ltda. O Biobob® é composto uma espuma porosa de poliuretano envolta por uma estrutura rígida de polipropileno, tem geometria cilíndrica e suas dimensões são de 45 mm de diâmetro e 60 mm de altura. Conforme informado pelo fabricante, a taxa de aplicação do produto é de 94.000 m^2/m^3 .



Figura 1: Foto do Biobob®.
Fonte: BioProj Tecnologia Ambiental Ltda.

Reator de leito móvel com biofilme (MBBR)

O reator foi operado como um sistema de fluxo contínuo utilizando uma bomba dosadora Emec Modelo Fce-1601. O sistema de MBBR foi configurado com um único tanque de aeração. Foi feito em acrílico com dimensões externas de 30,0 x 30,0 x 40,0 cm (altura, largura e profundidade), com volume útil de 24,3 L. A fração de enchimento (ou fração de recheio) do suporte Biobob®, foi mantida fixa ao longo do estudo em 30% (em outras palavras, a fração de recheio é o volume ocupado pelos suportes móveis em relação ao volume do reator). A vazão do sistema foi mantida constantemente em 80 L/dia e o oxigênio dissolvido (OD) no tanque de reação foi controlado em 3,0 mg/L.

A aeração do sistema foi realizada por borbulhamento de ar via um difusor tubular com dimensões de 29,5 x 29,5 cm (diâmetro e comprimento), conectado a duas bombas aeradoras, sendo a vazão total de 100 L/min. O difusor foi instalado no centro da base do reator para conferir uma boa distribuição de bolhas médias, assegurando a adequada transferência de oxigênio, bem como a movimentação dos suportes por todo o reator.

A jusante do MBBR, foi instalado um decantador lamelar retangular de acrílico com dimensões de 30,0 x 30,0 x 45,0 cm (altura, largura e profundidade) e com um dreno na parte inferior para descarte do excesso de lodo retido, o qual não era recirculado. Após a passagem pelo decantador, o efluente seguia para filtro de areia e logo após era armazenado para análises físico-químicas dos parâmetros de qualidade.



Figura 2: Reator MBBR operado de forma contínua.

Análises físico-químicas do efluente tratado

Durante o período de operação do reator MBBR foram realizadas as determinações analíticas de parâmetros de qualidade, conforme descrito na Tabela 1 com seus locais de amostragem. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Saneamento (Labosan) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A coleta de dados foi realizada durante um período de 58 dias (Junho a Agosto de 2021). Os parâmetros analisados foram: DQO, nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrito

(NO₂⁻-N), nitrato (NO₃⁻-N), pH, condutividade e série de sólidos, conforme metodologia descrita em APHA (2012).

Tabela 1: Dados sobre coletas e métodos de análise de amostragem.

Parâmetro de Qualidade	Local de amostragem	Número de coletas	Método Analítico
DQO Afluente	Entrada	18	5220-C
DQO Efluente	Saída	18	5220-C
DQO Efluente Solúvel	Saída	18	5220-C
pH	Entrada e Saída	18	4500-H ⁺ -B
NH ₄ ⁺ -N	Entrada e Saída	16	4500-NH ₃ -C
NO ₂ ⁻ -N	Entrada e Saída	16	4110-B
NO ₃ ⁻ -N	Entrada e Saída	16	4110-B
Sólidos Totais	Entrada e Saída	16	2540-B
Sólidos Suspensos Totais	Entrada e Saída	16	2540-D

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do Esgoto (afluente ao sistema)

Inicialmente foi realizado o estudo de caracterização do esgoto afluente ao sistema (Tabela 2). O pH afluente manteve-se durante todo o experimento, entre 7 e 8. Com relação à DQO, observou-se valores médios próximos a 270 mg/L, portanto apresentando característica de esgoto sanitário diluído. A Figura 3 apresenta o aspecto visual do esgoto afluente.

Tabela 2: Características do afluente bruto da EPC Fortaleza: valores médios.

Parâmetros	Junho/2021	Julho/2021	Agosto/2021
DQO (mg/L)	292	250	307
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	53,6	48,6	49,4
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	0,4	0,2	0,0
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	2,5	0,04	0,0
pH	7,7	7,9	7,6



Figura 3: Aspecto visual do esgoto afluente.

Com relação à DQO, os resultados mostram que se trata, de fato, de um esgoto tipicamente fraco. O percentual de DQO solúvel frente ao total afluente foi próximo a 55%. Com relação a DBO, também foram encontrados valores baixos, frequentemente próximos a 170 mg/L. Também é importante citar que a relação DQO/DBO, usualmente utilizada para expressar a biodegradabilidade do efluente, apresentou valor médio de 1,7, valor considerado como representativo de uma água residuária de elevada biodegradabilidade ($< 2,5$) (VON SPERLING, 2005).

Partida e desempenho do sistema

O sistema teve seu início de operação no dia 1, ressaltando que não houve inoculação de lodo. Na fase inicial do processo, os meios suportes se concentraram na parte superior do reator, flutuando. Contudo, com o desenvolvimento do biofilme em cerca de 15 a 20 dias, observou-se que as biomédias passaram a ter uma movimentação mais uniforme ao longo do reator, já que após essa etapa de colonização, havia uma concentração considerável de microrganismos no biofilme. Nesse sentido, a Figura 4 mostra o crescimento do biofilme em diferentes fases da pesquisa.



Figura 4: Crescimento do biofilme nas mídias ao longo da pesquisa.

É importante citar que não se observou nenhum processo de colmatção ou desprendimento excessivo de biomassa ao longo do período operacional. Isso também pode estar relacionada à baixa carga orgânica afluente, justificando a espessura fina do biofilme (BASSIN, 2012). Ressalta-se que essas condições são ótimas e recomendadas para maximizar a difusão de substrato às camadas mais internas (KRIKLAVOVA & LEDERER, 2010; RUSTEN et al., 2006).

As Figuras 5 e 6 mostram a evolução temporal da remoção de DQO e nitrogênio amoniacal, respectivamente, sendo os valores médios apresentados na Tabela 3. Portanto, após 1 mês de operação, observou-se valores médios próximos a 90% na remoção dos poluentes estudados. Observou-se durante a primeira semana que a remoção de DQO manteve-se abaixo de 70%, possivelmente devido à baixa concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) nas biomédias que ainda estavam em processo de colonização. Similarmente, observou-se uma baixa remoção de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ durante as primeiras semanas ($< 30\%$), o que era esperado, tendo em vista a baixa taxa de crescimento das bactérias nitrificantes (BASSIN e DEZOTTI, 2011). Por outro lado, já nas primeiras semanas, observou-se uma significativa remoção de SS, indicando a possibilidade de remoção de sólidos por aderência à biomédia.

Os valores de eficiência de remoção de DQO e nitrogênio amoniacal obtidos foram próximos ao relatados por outros estudos. Bassin et al. (2016), tratando esgoto sanitário em um sistema MBBR, observaram remoção de amônia próxima a 90%. Di Trapani et al. (2008), também operando um sistema MBBR no tratamento de esgoto sanitário, obtiveram remoção de DQO próxima a 90% e de nitrogênio amoniacal próxima a 99%.

Com relação ao tempo de estabilidade, observou-se em cerca de 20 dias para a remoção de DQO, e de 40 dias para a remoção de nitrogênio amoniacal. Esses resultados se justificam devido ao crescimento mais lento das bactérias nitrificantes (BASSIN e DEZOTTI, 2011).

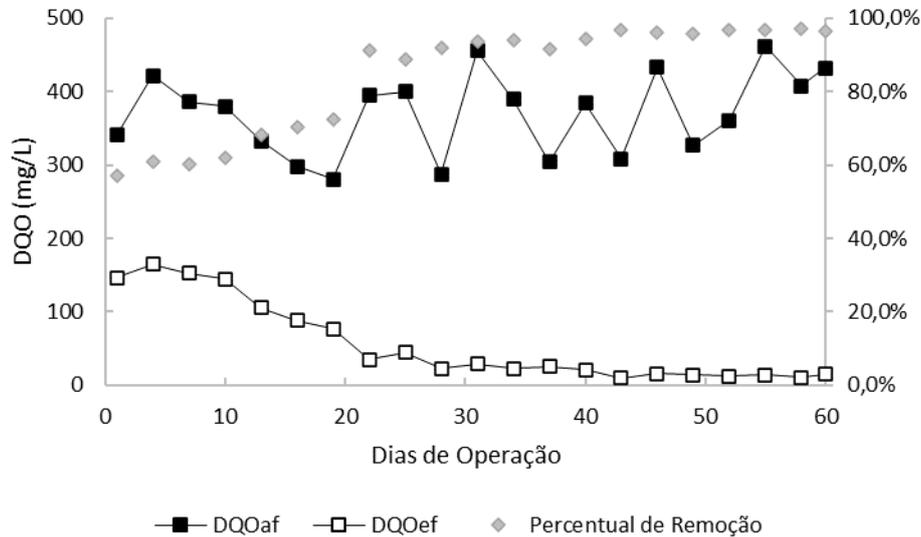


Figura 5: DQO afluyente e efluente, e eficiência de remoção durante o período de estudo.

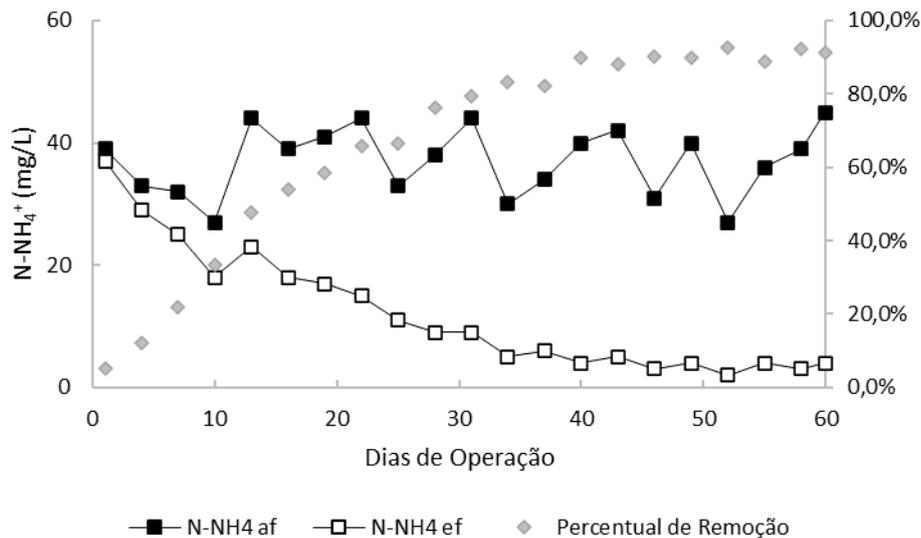


Figura 6: NH₄⁺-N afluyente e efluente, e eficiência de remoção durante o período de estudo.

Tabela 3: Valores médios obtidos após a aclimação e estabilidade do sistema em termos de remoção de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal e sólidos em suspensão.

Parâmetro	Valor
DQO _{af}	272 ± 119 mg/L
DQO _{ef}	54 ± 16 mg/L
N-NH ₄ ⁺ _{af}	49,7 ± 9,5 mg/L
N-NH ₄ ⁺ _{ef}	13,0 ± 2,1 mg/L

Por fim, observou-se que durante todo o experimento os valores de condutividade elétrica permaneceram abaixo de 1000 µS/cm.

CONCLUSÕES

Esse trabalho avaliou a partida de um reator do tipo MBBR tratando esgoto sanitário real diluído, utilizando FR de 30%, com a biomídia de alta performance Biobob®.

A biomídia Biobob® proporcionou uma ótima adesão do biofilme em pequeno intervalo de tempo, resultando também na remoção de DQO e amônia de forma simultânea, alcançando-se eficiências de remoção superiores a 90% após 40 dias de operação.

Verificou-se também que o desenvolvimento do biofilme não comprometeu a movimentação das biomídias e não houve colmatação durante o período operacional.

Por fim, recomenda-se a continuidade de pesquisas avaliando outras frações de recheio, além do estudo das diferentes variáveis que influem no processo, como: biomídias, influência das condições climáticas, carga orgânica volumétrica aplicada, entre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis), e da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). (2012) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22. ed. Washington, D.C.: APHA/AWWA/WEF.
2. FUJII, F.Y. Análise comparativa entre o processo de lodo ativado e o reator de biofilme de leito móvel na remoção de nitrogênio de esgoto sanitário. São Paulo: [s.n.], 2011. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
3. CARMINATI, H.B.; SECCHI, A.R.; BASSIN, J.P.; NOGUEIRA, B.L. et al. Modelagem e otimização de sistemas MBBR para tratamento de efluentes. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2016. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2016. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/modelagem-e-otimizacao-de-sistemas-mbbr-para-tratamento-de-efluentes>> Acesso em: 12 Maio. 2021.
4. JORDAO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
5. RUSTEN, B., EIKEBROKK, B., ULGENES, Y., (2006). Design and operations of the kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, 34(3):322-331
6. SUBTIL, E.L. Tratamento de águas residuárias utilizando emissários submarinos: avaliação do nível de tratamento para uma disposição oceânica ambientalmente segura. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/T.3.2012.tde-12062013-170031. Acesso em: 2021-05-10.
7. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
8. WANG, X. J. et al. "Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor". *Process Biochemistry*, v. 41, n. 4, p. 824–828, 2006.